



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

Grado en Ingeniería Eléctrica

2015 - 2016

*Trabajo Fin de Grado*

# Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)

Sergio Albarrán Núñez

Tutor

Lorenzo Muñoz Pascual

Universidad Carlos III de Leganés

Febrero de 2016

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no ha sido realizado por mí únicamente, ya que he recibido mucho apoyo de muchas personas. He aquí la razón por la que quiero dar mis más sinceros agradecimientos a ellos.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia no sólo por su apoyo moral, sino también por su ayuda económica prestada a lo largo de estos años. Si no fuera por ellos, no habría sido posible presentar este año.

También debo reconocer la ayuda y el apoyo prestado por mis amigos y compañeros en estos años. Además, debo hacer una mención a la ayuda aportada por mi tutor, Lorenzo Muñoz Pascual, cuya paciencia y dedicación me han sido unos de los principales pilares para la realización de mi Trabajo de Fin de Grado.

Por último, y no por ello menos importante, mi pareja ha sido de gran ayuda no sólo por su apoyo, sino por compartir su propia experiencia.

## RESUMEN

Un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) es un dispositivo que tiene la finalidad de alimentar una carga crítica en caso de fallo de alimentación a la carga durante un tiempo determinado. Además, un SAI puede tener elementos que filtran y mejoran la onda de tensión que aportan a la carga.

Estos sistemas consisten de varios elementos. Los antiguos sistemas de alimentación ininterrumpida tienen elementos mecánicos y analógicos. Estos están obsoletos y la mayoría ha sido sustituida por la tecnología de electrónica de potencia. Estos últimos están compuestos, principalmente, por rectificadores/cargadores, inversores, *by-pass* estático, *by-pass* manual, batería, elementos de protección y elementos de control. Estos elementos actúan y deben actuar de forma sincronizada a fin de mantener la alimentación a la carga de forma ininterrumpida.

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se plantea la definición técnica y económica de la instalación eléctrica de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD), compuesta por una doble acometida eléctrica con dos compañías eléctricas diferentes y un grupo electrógeno de respaldo en caso de faso de las dos acometidas eléctricas.

Dada la criticidad de las cargas que se alimentan en esta instalación se ha optado por la implementación de un SAI que evite huecos de tensión en las posibles conmutaciones entre los diferentes suministros presentes.

## ABSTRACT

An Uninterruptible Power Supply (UPS) is a device aimed at feeding an electrical load (critical load, whose characteristics and functions make the feed on) for a fixed time when there is failure in the power grid (no feeding to the load). Besides, an UPS system is used to filter and enhance the voltage wave to the load, too.

These systems consist of several parts. The former UPS systems have mechanical and analogical elements. But these set-ups are outdated and replaced by power electronics. The main items which power electronics is made of are the rectifier/feeder, the inverter, the static by-pass, the manual by-pass (used in some cases), the battery, the protection elements and the control ones. The protection and control elements must be synchronized in order to maintain the feed to the load.

The main goal of this Final Degree Project is the technical and economical definition of the electrical installation of a Data Center. This Data Center can be fed either by two different power companies or by a generator.

Owing to the importance of the loads, it is necessary to implement a UPS system in order to avoid power dips in the commutations in all the possible feeding setups.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE .....	4
INDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	11
1- Introducción .....	13
1.1- Motivación .....	13
1.2- Objetivos .....	13
1.3- Estructura .....	13
2- Sistemas de alimentación ininterrumpida.....	15
2.1- Introducción .....	15
2.2- Variaciones en el suministro eléctrico.....	15
2.2.1- Motivos de las variaciones en el suministro eléctrico.....	15
2.2.2- Defectos en la alimentación .....	16
2.3- Bloques funcionales de un SAI .....	18
2.3.1- Elementos de la conversión de potencia.....	19
2.4- Selección de un SAI .....	20
2.4.1- Autonomía de un SAI.....	20
2.4.2- Capacidad de un SAI.....	21
2.4.3- Forma de onda a la salida de un SAI.....	21
2.4.4-Otras características .....	21
2.5- Tipos de SAIs.....	22
2.5.1- Tipos de SAIs en función de la corriente de carga.....	22
2.5.2- Tipos de SAIs según su tipo de accionamiento .....	23
2.5.2.1- SAIs estáticos .....	23
2.5.2.2- SAIs mecánicas .....	23
2.5.2.2.1-SAIs con motor de combustión interna.....	23
2.5.2.2.2-SAI con motor de corriente continua .....	24
2.5.2.3- SAIs híbridos.....	25
2.5.2.3.1-Sistema con motor de corriente continua y alternador.....	26
2.5.2.3.2-Sistema de corriente alterna y alternador.....	26

2.6-	Tecnologías de los SAIs .....	26
2.6.1-	SAI <i>on-line</i> .....	27
2.6.2-	SAI <i>off-line</i> .....	28
2.6.3-	SAI interactivo .....	29
5.6.4-	Comparación entre SAIs .....	30
2.7-	Factor de potencia y factor de distorsión armónica.....	30
2.8-	Dimensionamiento de un SAI .....	31
2.9-	Esquemas de conexión del neutro a tierra de un SAI.....	32
2.9.1-	Esquema TT .....	32
2.9.2-	Esquema TN.....	33
2.9.3-	Esquema IT o esquema de neutro aislado o impedante.....	34
2.9.5-	Sistemas de puesta a tierra del SAI .....	35
2.9.5.1-	Sin aislamiento galvánico .....	35
2.9.5.1.1-	Esquema TT .....	35
2.9.5.1.2-	Esquema TN .....	36
	Esquema TN-C “aguas arriba” del SAI.....	36
	Esquema TN-S “aguas arriba” del SAI.....	37
2.9.5.2-	Con aislamiento galvánico.....	37
2.9.5.2.1-	Esquema TT .....	37
2.9.5.2.2-	Esquema TN .....	38
	Esquema TN-C.....	38
	Esquema TN-S .....	38
2.10-	Arquitectura entre los SAIs y las cargas .....	39
2.10.1-	Arquitectura distribuida.....	39
2.10.2-	Arquitectura centralizada .....	40
2.10.3-	Arquitectura modular .....	40
2.10.4-	Arquitectura modular granular .....	41
2.11-	Gestión y comunicación entre SAIs .....	42
2.11.1-	Protección local .....	42
2.11.2-	Extensión de la protección local.....	43
2.11.3-	Integración a la red IP .....	43
2.11.4-	Gestión de varios SAIs .....	43
2.11.5-	Monitorización ambiental .....	44
2.12-	Configuración de diseños de sistemas de SAIs .....	44

2.12.1-	SAI independiente.....	44
2.12.2-	SAIs en cascada.....	45
2.12.3-	SAIs en paralelo .....	47
2.12.3.1-	Configuración en paralelo distribuido.....	48
2.12.3.2-	Configuración en paralelo centralizado .....	49
2.12.4-	SAIs redundantes distribuidos.....	49
3-	Descripción de las instalaciones.....	53
3.1-	Instalaciones de 15 kV .....	54
3.1.1-	Celdas de maniobra y protección de 15 kV en SF6 .....	54
3.1.2-	Galerías transitables .....	56
3.1.3-	Transformadores de potencia .....	56
3.2-	Instalaciones de 380 V .....	58
3.2.1-	Grupo electrógeno.....	58
3.2.2-	Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).....	59
3.2.2.1-	Modo normal .....	62
3.2.2.2-	Modo batería .....	63
3.2.2.3-	Modo <i>by-pass</i> estático.....	64
3.2.2.4-	Modo <i>by-pass</i> manual.....	64
3.2.2.5-	Monitorización del SAI.....	65
3.2.2.6-	Comunicaciones .....	65
3.2.2.7-	Conjunto de baterías.....	65
3.2.3-	Grupo electrógeno auxiliar móvil .....	67
3.2.2-	Cuadro de BT .....	68
4-	Cálculos eléctricos justificativos.....	69
4.1-	Cálculo de intensidades nominales.....	69
4.1.1-	Intensidad de media tensión .....	69
4.1.2-	Intensidad de baja tensión .....	70
4.2-	Cálculo de corrientes de cortocircuito.....	70
4.2.1-	Intensidad de cortocircuito en la acometida .....	71
4.2.2-	Intensidad de cortocircuito en el secundario de los transformadores.....	71
4.3-	Elección de la sección del conductor .....	73
4.3.1-	Máximas corrientes de los cables desde el grupo electrógeno hasta la barra permanente .....	73
4.3.1.1-	Cables desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT.....	73

4.3.4-	Cables de BT desde el embarrado de BT hasta la barra permanente .....	74
4.3.2-	Caídas de tensión.....	74
4.3.1-	Caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT.....	75
4.3.2-	Caída de tensión entre el embarrado de BT y la barra permanente.....	75
4.4-	Dimensionamiento de embarrados .....	76
4.4.1-	Embarrados de media tensión .....	77
4.4.2-	Dimensionamiento de la pletina (Cu 2x100x10mm).....	77
4.4.2.1-	Solicitaciones térmicas.....	77
4.4.2.1.1-	Condiciones de servicio permanente.....	77
4.4.2.1.2-	Condiciones de cortocircuito .....	80
4.4.2.2-	Solicitaciones electrodinámicas .....	81
4.4.2.2.1-	Fuerzas entre conductores paralelos .....	82
4.4.2.2.2-	Esfuerzo sobre los aisladores de un conductor .....	83
4.4.2.2.3-	Esfuerzo de rotura .....	84
4.4.2.2.4-	Comparación entre el esfuerzo sobre el conductor y el esfuerzo de rotura del aislador del conductor.....	84
4.4.2.2.5-	Cálculo final del esfuerzo de rotura de la cabeza del aislador .....	85
4.5-	Puesta a tierra de la instalación .....	85
4.5.1-	Cálculo de la intensidad de defecto a tierra.....	86
4.5.2-	Cálculo de las tensiones de paso y contacto.....	88
4.5.2.1-	Tensiones de paso .....	88
4.5.2.2-	Tensiones de contacto .....	89
4.5.3-	Tensión de defecto .....	90
4.5.4-	Conclusiones .....	92
4-	Planos .....	93
5-	Presupuesto .....	94
6.1-	Capítulo 1: Equipamiento Eléctrico de Alta Tensión.....	94
6.2-	Capítulo 2: Equipamiento Eléctrico (Grupos Electrógenos).....	95
6.3-	Capítulo 3: Cables y embarrados de Alta Tensión .....	96
6.4-	Equipamiento eléctrico de Baja Tensión.....	97
6.5-	Cables y embarrados de Baja Tensión .....	99
6.6-	Obra Civil.....	100
6.7-	Presupuesto final .....	100
6-	Conclusiones y trabajos futuros .....	101



7- Bibliografía .....	105
-----------------------	-----

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1.:** Bloques funcionales de un SAI. [1]
- Figura 2.2.:** SAI de corriente continua. [2]
- Figura 2.3.:** SAI estático. [2]
- Figura 2.4.:** SAI con motor de combustión interna. [2]
- Figura 2.5.:** Esquema de un SAI con motor de corriente continua. [2]
- Figura 2.6.:** SAI híbrido. [2]
- Figura 2.7.:** SAI *on-line*. [2]
- Figura 2.8.:** SAI *on-line* en condiciones normales de operación. [2]
- Figura 2.9.:** SAI *on-line* en condiciones de falta de alimentación. [2]
- Figura 2.10.:** SAI *off-line*. [2]
- Figura 2.11.:** SAI *off-line* en condiciones normales de operación. [2]
- Figura 2.12.:** SAI *off-line* en condiciones de falta de alimentación. [2]
- Figura 2.13.:** SAI interactivo. [2]
- Figura 2.14.:** Esquema simplificado para dimensionar un SAI.
- Figura 2.15.:** Esquema de puesta a tierra TT.
- Figura 2.16.:** Esquema de puesta a tierra TN-S.
- Figura 2.17.:** Esquema de puesta a tierra TN-C.
- Figura 2.18.:** Esquema de puesta a tierra IT.
- Figura 2.19.:** Esquema TT de un SAI sin aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.20.:** Esquema TN-C/TN-C de un SAI sin aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.21.:** Esquema TN-C/TN-S de un SAI sin aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.22.:** Esquema TT de un SAI con aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.23.:** Esquema TN-C de un SAI con aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.24.:** Esquema TN-S de un SAI con aislamiento galvánico. [3]
- Figura 2.25.:** Arquitectura distribuida entre SAIs y cargas. [4]
- Figura 2.26.:** Arquitectura centralizada entre SAIs y cargas. [4]

**Figura 2.27.:** Arquitectura modular granular entre SAIs y cargas. [4]

**Figura 2.28.:** SAI independiente. [5]

**Figura 2.29.:** SAI en cascada. [5]

**Figura 2.30.:** SAI en paralelo. [5]

**Figura 2.31.:** SAI en paralelo distribuido. [6]

**Figura 2.32.:** SAI en paralelo centralizado. [6]

**Figura 2.33.:** SAI redundante distribuido. [5]

**Figura 2.34.:** Sistema *Catcher*. [5]

**Figura 3.1.:** Esquema general de suministros eléctricos disponibles en el CPD.

**Figura 3.2.:** Esquema edificios del CPD.

**Figura 3.3.:** Modo normal de funcionamiento del SAI.

**Figura 3.4.:** Modo batería de funcionamiento del SAI.

**Figura 3.5.:** Modo *by-pass* de funcionamiento del SAI.

**Figura 3.6.:** Modo *by-pass* manual de funcionamiento del SAI.

**Figura 4.1.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 90°C a diferentes temperaturas ambiente.

**Figura 4.2.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 200°C en condiciones de cortocircuito a 40°C de temperatura ambiente.

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 2.1.:** Problemas y causas de las variaciones del suministro eléctrico.

**Tabla 2.2.:** Síntomas y efectos de las variaciones del suministro eléctrico.

**Tabla 2.3.:** Desventajas y desventajas de la arquitectura distribuida entre SAIs y cargas.

**Tabla 2.4.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura centralizada entre SAIs y cargas.

**Tabla 2.5.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura modular entre SAIs y cargas.

**Tabla 2.6.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura modular granular entre SAIs y cargas.

**Tabla 2.7.:** Ventajas y desventajas de SAIs independientes.

**Tabla 2.8.:** Ventajas y desventajas de los SAIs en cascada.

**Tabla 2.9.:** Ventajas y desventajas de los SAIs en paralelo.

**Tabla 2.10.:** Ventajas y desventajas de los SAIs distribuidos.

**Tabla 3.1.:** Características de las celdas de entrada de 15 kV. [7]

**Tabla 3.2.:** Características de las celdas de maniobra y protección de 15 kV en SF6. [7]

**Tabla 3.3.:** Características de los transformadores de 1.250 kVA. [8]

**Tabla 3.4.:** Características del grupo electrógeno de 1.250 kVA. [9]

**Tabla 3.5.:** Características principales del SAI. [10]

**Tabla 3.6.:** Características de grupo electrógeno auxiliar de 400 kVA. [11]

**Tabla 4.1.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad nominal de media tensión.

**Tabla 4.2.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad nominal de baja tensión.

**Tabla 4.3.:** Potencias de cortocircuito de las compañías eléctricas suministradoras.

**Tabla 4.4.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en la acometida.

**Tabla 4.5.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en el secundario del transformador.

**Tabla 4.6.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en bornas del grupo electrógeno.

**Tabla 4.7.:** Intensidades de cortocircuito en el embarrado de 380V.

**Tabla 4.8.:** Parámetros para la corriente máxima de los cables desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT.

**Tabla 4.9.:** Parámetros para la corriente máxima de los cables dimensionar los cables de BT desde el embarrado de BT hasta la barra permanente.

**Tabla 4.10.:** Parámetros para la caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT.

**Tabla 4.11.:** Parámetros para la caída de tensión entre el embarrado de BT y la barra permanente.

**Tabla 4.12.:** Parámetros para el tiempo en el que la pletina tarda en alcanzar 90°C en condiciones normales.

**Tabla 4.13.:** Tiempo que tarda la pletina de cobre de 2x(100x10) mm en alcanzar la temperatura máxima de trabajo de 90°C partiendo de la temperatura ambiente.

**Tabla 4.14.:** Parámetros para el tiempo en que la pletina alcanza los 200°C de temperatura en condiciones de cortocircuito.

**Tabla 4.15.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 200°C en condiciones de cortocircuito a 40°C de temperatura ambiente.

**Tabla 4.16.:** Parámetros para el cálculo de la fuerza electrodinámica.

**Tabla 4.17.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo sobre los aisladores del conductor.

**Tabla 4.18.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo de rotura en cabeza del aislador.

**Tabla 4.19.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo sobre el aislador del conductor.

**Tabla 4.20.:** Características del centro de transformación.

**Tabla 4.21.:** Parámetros de la configuración de la puesta a tierra.

**Tabla 4.22.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de defecto.

**Tabla 4.23.:** Valores de los parámetros K y n de la puesta a tierra.

**Tabla 4.24.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de paso admisible.

**Tabla 4.25.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de paso máxima.

**Tabla 4.26.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de contacto máxima.

**Tabla 4.27.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de defecto.

**Tabla 4.28.:** Separación entre la puesta a tierra de las masas y la de tierra.

# 1- Introducción

## 1.1- Motivación

Las pérdidas de alimentación pueden provocar pérdidas de información y daños de los equipos. Una interrupción en el suministro supone que toda la información recopilada se puede perder, siendo esta información vital para una empresa. Además, al interrumpirse el flujo de energía, pueden dañar gravemente las infraestructuras existentes. Estas dos razones provocan grandes pérdidas económicas para las empresas, que incluso pueden llegar a ser millonarias.

Las pérdidas de alimentación pueden ser de dos tipos: naturales y humanas. En ambos contextos, los fallos pueden ser accidentales, como son las descargas eléctricas, temporales intensos, fallos humanos en la gestión de la red, etc.

Estos fallos pueden ocasionar en el equipo de trabajo decepciones, frustraciones, estrés en el puesto de trabajo, etc.

Por este motivo surgen los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAIs). Estos equipos se basan en redundancias en la alimentación una carga crítica. Cuantas más redundancias, menos probable será la interrupción de alimentación a la carga.

## 1.2- Objetivos

El objetivo principal del presente TFG es determinar las condiciones técnicas y económicas de una instalación eléctrica de un CPD para lo cual se plantean el siguiente desglose:

- Realizar un estudio de los SAIs, conociendo las distintas configuraciones y usos. También se quiere conocer su composición y el propósito de cada componente, así como las principales características a la hora de elegir un SAI.
- Tomar una solución para llevar a cabo el TFG, diseñando con esto instalación eléctrica de Alta Tensión (AT) y Baja Tensión (BT) del CPD.
- Desarrollo de todos los cálculos eléctricos necesarios que justifiquen la solución adoptada.
- Comprobación de instalaciones de BT y modificación en caso de existir alguna deficiencia.
- Elaboración de planos necesarios para la definición de la solución adoptada.
- Desarrollar un plan de trabajos del TFG.
- Elaboración de un presupuesto aproximado de la instalación.

## 1.3- Estructura

El presente TFG se va a estructurar de la siguiente manera:

- **Capítulo 1: Introducción**

En este capítulo se trata de explicar el tema considerado, la motivación, los objetivos que se tratan de alcanzar y su estructura.

- **Capítulo 2: Sistemas de alimentación ininterrumpida**

Aquí se trata de introducir estos sistemas de alimentación, explicando su comportamiento, los componentes, los tipos de SAIs, las tecnologías, las puestas a tierra, los parámetros que definen un SAI y las configuraciones entre diferentes SAIs y entre éstos y las cargas a proteger.

- **Capítulo 3: Descripción de la instalación**

Se trata de hacer una descripción detallada del equipamiento eléctrico que se va a instalar atendiendo a las necesidades de la instalación y las características de la misma.

- **Capítulo 4: Cálculos eléctricos**

A partir de la descripción de la instalación, en este capítulo se hacen los cálculos necesarios para dimensionar los equipos que se quieren instalar, tales como los cables de AT y de BT, las pletinas, las celdas de maniobra y protección, los embarrados, los transformadores de potencia, la puesta a tierra, el cuadro de BT y el SAI.

- **Capítulo 5: Planos**

Los planos ofrecen una descripción gráfica de la instalación, desde los transformadores hasta las cargas, y de la ubicación.

- **Capítulo 6: Plan de trabajo**

En el plan de trabajos se hace una división de las tareas del TFG y los tiempos que requiere cada una de estas actividades.

- **Capítulo 7: Presupuesto**

En este apartado, se hace un estudio de los costes de ejecución de la nueva instalación y de las modificaciones necesarias para cumplir con los requerimientos del cliente.

- **Capítulo 8: Conclusiones y trabajos futuros**

Este capítulo consiste principalmente en enumerar los objetivos iniciales alcanzados y, a partir de estos resultados, las conclusiones que el proyectista alcanza. Además, aquí se hace una descripción de las posibles mejoras técnicas o temáticas y ampliaciones de la instalación proyectada.

- **Capítulo 9: Bibliografía**

Aquí se hace una bibliografía clara y detallada para la redacción de este TFG.

## 2- Sistemas de alimentación ininterrumpida

### 2.1- Introducción

Se puede definir un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI), o en terminología anglosajona *Uninterruptible Power Supply* (UPS), como cualquier dispositivo que es capaz de asegurar y mantener la alimentación eléctrica, de forma ininterrumpida y durante un tiempo delimitado, de cualquier carga o instalación críticas cuando se produce una pérdida de alimentación. Estas cargas e instalaciones se encuentran “aguas abajo” del SAI. Estos sistemas disponen de elementos almacenadores de energía, principalmente baterías, que entran en funcionamiento cuando se produce una falta en la alimentación desde la red [12].

Además de asegurar la alimentación en las cargas críticas, un SAI también puede tener la opción de mejorar la calidad de la tensión y de la corriente de entrada a la carga; las irregularidades más comunes en una onda tanto de tensión como de corriente son los armónicos, los “subvalores” (subtensiones y subcorrientes) y “sobrevalores” (sobretensiones y sobrecorrientes). Normalmente, las cargas tienen unos valores límite de funcionamiento, que no se pueden sobrepasar para el correcto funcionamiento de la carga. Además, los SAIs también tienen unos límites de funcionamiento, que en caso de sobrepasarlos, el SAI desconecta la carga de la red y la batería alimenta la carga [12].

También, se debe considerar que una irregularidad en la onda de energía de entrada puede ocasionar, además de reducciones de la vida útil de los equipos, malfuncionamientos en los equipos. De aquí se deriva la importancia de los SAIs en algunos equipos.

### 2.2- Variaciones en el suministro eléctrico

#### 2.2.1- Motivos de las variaciones en el suministro eléctrico

En la red eléctrica pueden ocurrir variaciones en el suministro eléctrico por diversas circunstancias. En la Tabla 2.1. se muestran los problemas que pueden ocurrir en una línea eléctrica y las circunstancias que los ha provocado [13].

Cuando se producen estas circunstancias anteriores, la continuidad del suministro se ve gravemente comprometida. Por lo tanto, se pueden dar ciertos defectos, o síntomas, en la red que provocan unos efectos en las instalaciones en las instalaciones. Estos síntomas y efectos se resumen en la Tabla 2.2. [13].



**Tabla 2.1.:** Problemas y causas de las variaciones del suministro eléctrico.

PROBLEMAS	CAUSAS
Actos de la naturaleza	Inundaciones y tormentas, vientos fuertes y terremotos.
Problemas de utilización	Errores humanos ó accidentes en líneas de AT, cortes e interrupciones de conexionado, sabotajes y cortocircuitos.
Interferencias generadas por cargas	Ascensores y elevadores, grúas, equipos de soldadura por arco y equipos con variadores de velocidad.

**Tabla 2.2.:** Síntomas y efectos de las variaciones del suministro eléctrico.

SINTOMAS	EFECTOS
Cortes de electricidad	Imposibilidad de trabajar con equipos eléctricos; falta de atención al cliente (supermercados, agencias de viajes, etc.); daños en el <i>hardware</i> , pérdida de datos y corrupción de ficheros.
Bajadas de tensión	Reducción de tensión de utilización frecuentemente planificada; fallos de <i>hardware</i> prematuros y ficheros corrompidos.
Fluctuaciones de tensión	Sobretensiones ó infratensiones y picos y subidas de tensión; daños de CPU y discos y circuitería y almacenamiento; impredecibles problemas de <i>software</i> .
Ruidos y transientes	Ruido eléctrico sobreimpuesto en la línea de utilización; armónicos en circuitería y ficheros de datos.

### 2.2.2- Defectos en la alimentación

La onda de la red eléctrica no siempre es una senoide pura, sino que lleva superpuestos unos armónicos de mayor frecuencia que alteran la calidad de la onda. Algunos de estos problemas son los siguientes [1] [14].

1. Corte de energía o apagón (*Blackout*): Un corte de energía supone una interrupción del suministro a las cargas. Estos defectos pueden deberse a varias causas, tales como descargas eléctricas, fallos en las líneas, sobrecargas, accidentes y desastres naturales. Pueden tener efectos negativos sobre las cargas, en especial si son cargas electrónicas: daños en equipos informáticos, pérdida de datos, interrupción del suministro, etc.

2. Subtensiones momentáneas o microcortes (Sag): Son las bajadas de tensión durante un transcurso corto de tiempo. Los microcortes se deben, principalmente, al arranque o encendido de equipos de gran potencia y fallos de algunos equipos. Estos defectos, como en los apagones, tienen pueden causar problemas sobre cargas electrónicas, que pueden tener como resultado daños en equipos informáticos y pérdidas de datos, etc.
3. Picos de tensión ó sobretensiones momentáneas (Surge): Son subidas de tensión, de por encima un 110 % de la tensión nominal, durante un transcurso corto de tiempo. Los picos de tensión son producidos por desconexiones rápidas de cargas, desconexiones o paradas de equipos de grandes potencias y desconexiones/conexiones de interruptores en la red, entre otras posibles causas. Un fallo de este tipo puede conllevar daños en equipos informáticos y alteraciones en los datos.
4. Subtensiones prolongadas (Undervoltage): Una subtensión prolongada se traduce como un bajo voltaje sostenido en una línea durante un tiempo prolongado. Se pueden deber, entre otros factores, a la intención del la continuidad energética que consisten en una reducción de la tensión en la red en los momentos de mayor demanda y arranques de motores o de cargas muy inductivas. Estos fallos pueden causar malfuncionamientos y daños en equipos electrónicos.
5. Sobretensiones prolongadas (Overvoltage): Una sobretensión prolongada es un alto voltaje sostenido en una línea durante un tiempo prolongado. La caída de rayos en líneas eléctricas pueden causar sobretensiones prolongadas. Pueden causar daños en equipos electrónicos y pérdida de datos en equipos informáticos.
6. Ruido eléctrico (Line Noise): El ruido eléctrico se manifiesta en interferencias sobre la onda portadora. La frecuencia del ruido es mayor a la de la onda portadora. Se producen principalmente a causa de algunos dispositivos, tales como trasmisores, máquinas de soldar, impresoras, rayos, etc. Pueden provocarlo interferencias de equipos de transmisión, máquinas de soldar, descargas eléctricas, etc. El ruido eléctrico puede causar daños en equipos electrónicos y puede corromper los datos en equipos informáticos.
7. Variación de la frecuencia (Frequency Variation): Las variaciones de la frecuencia en la red es un cambio del valor de la misma. Pueden provocarlos, entre otras causas, cuando se cargan o descargan generadores en centrales de cogeneración. Pueden causar malfuncionamientos, caídas del sistema informático y daños en los equipos electrónicos, además de pérdida de datos en quipos informáticos.
8. Transientes o micropicos (Switching Transient): Es similar a los microcortes pero con la diferencia es que su duración es aún menor (de un rango de nanosegundos). Los micropicos pueden provocar pequeños defectos de funcionamiento en los equipos informáticos y daños en los mismos.
9. Distorsión armónica (Harmonic Distortion): La distorsión armónica consiste en que la forma de onda no es la adecuada. Se deben principalmente a elementos no lineales en la red (motores, faxes, etc), equipos ordenadores y algunas aplicaciones críticas, como algunos tipos de SAIs, motores, etc. La distorsión armónica provoca que los equipos electrónicos

trabajen a una alta temperatura. Además, se pueden ocasionar tanto daños estructurales como informáticos.

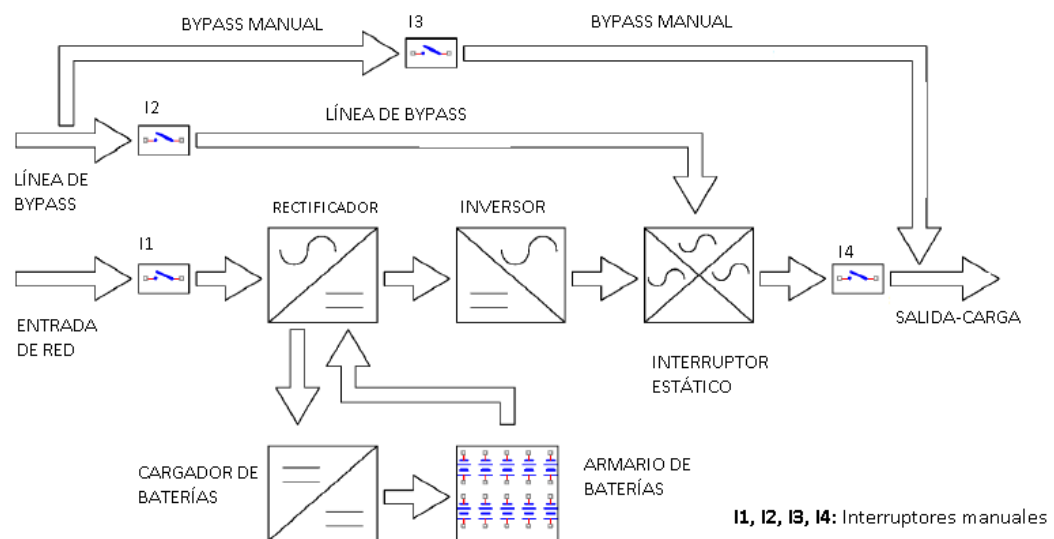
## 2.3- Bloques funcionales de un SAI

Los SAls tiene una estructura en bloques: filtro, rectificador - PFC, batería, inversor, *by-pass* estático, *by-pass* manual, paro de emergencia, panel de control y *software* de control y comunicación [1] [15].

- Filtro: Se utilizan filtros tipo EMI. Los filtros EMI son filtros pasa-bajos y eliminan los armónicos de gran frecuencia. Estos filtros actúan de forma bidireccional de forma que se eliminan de las perturbaciones provenientes de la red protegiendo el equipo, y que se evite la propagación de perturbaciones del SAI a la línea.
- Bloque rectificador: El rectificador por su parte está constituido por seis bloques: protección de entrada y seccionador, sensores de corriente, filtro *T*, puente rectificador trifásico, inductores de entrada y bus de corriente continua. La protección de entrada y seccionador es la protección propia del PFC (Power Factor Corrector). Los sensores de corriente miden y controlan la corriente de entrada a fin de que actúe el PFC para que el THD sea menor del 3 % a plena carga. El filtro *T* suaviza la corriente de salida del PFC a fin de eliminar los armónicos de la frecuencia de conmutación del PFC. El puente rectificador trifásico transforma la corriente alterna de la línea a corriente continua de la carga. Para rectificar la corriente se utilizan IGBTs en los nuevos modelos de SAls, que proporcionan una mayor calidad de onda. Los inductores de entrada son elementos en el PFC que almacenan la energía eléctrica durante la conmutación del puente rectificador. A fin de que funcionen correctamente el bloque rectificador es necesario un filtrado de la corriente continua que llega a ellos. Esta misión es encargada al bus de continua.
- Batería: La batería de condensadores son los elementos encargados de almacenar durante el modo normal de funcionamiento de un SAI. Cuando hay una contingencia en la línea, la batería se ocupa de aportar energía a la carga. Las dimensiones de una batería vienen determinadas por la potencia requerida por la carga y el tiempo de autonomía.
- Bloque ondulator: Un bloque ondulator consiste de cuatro partes principalmente: bus de continua, puente inversor trifásico, sensores de corriente e inductores de salida. El bus de continua lleva a cabo el filtrado de la corriente continua que alimenta el PFC y el puente inversor. El puente inversor trifásico transforma la corriente continua a alterna requerida por la carga. Para modificar la corriente se utilizan IGBTs en los nuevos modelos de SAls, que proporcionan una mayor calidad de onda. Los sensores de corriente miden y controlan la onda de salida. La onda de salida debe tener un THD inferior al 1 % a plena carga. Los inductores se utilizan, como en el caso anterior, para almacenar energía para los tiempos de conmutación del inversor.

- **Bloque *by-pass* estático:** En caso de fallar el bloque rectificador u ondulator, sobrecargas cortocircuitos y límites de corriente, la carga se alimenta desde la red directamente a través del *by-pass*. Este sistema consiste de seis dobles tiristores, dos por fase.
- **Bloque *by-pass* manual:** Un *by-pass* manual o de mantenimiento es un interruptor magnetotérmico instalado en una vía de conexión a los bornes, tanto de entrada como de salida, del SAI. En caso de realizar el mantenimiento del SAI, se cierra este circuito auxiliar.
- **Bornes para EPO:** El EPO es un pulsador externo de emergencia de salida que se conecta a los bornes del SAI y que permite desconectar completamente el SAI.
- **Panel de control:** El panel de control informa al usuario del estado del SAI mediante un *display* alfanumérico. Se utilizan diversos programas como interfaz entre el SAI y el usuario, como el sistema DSP (Digital Signal Processor) o procesamiento digital de señales.
- **Software de control y comunicación:** Hay diferentes controles en un mismo SAI, pero todos deben comunicarse con un controlador común, por lo que el lenguaje entre estos elementos debe ser el mismo.

En Figura 2.1. se representan los bloques funcionales principales de un SAI:



**Figura 2.1.:** Bloques funcionales de un SAI.

### 2.3.1- Elementos de la conversión de potencia

Los modelos antiguos de SAIs utilizan componentes semiconductores como diodos, tiristores, inductores, condensadores, etc. a fin de controlar la onda de tensión [4].

Los elementos anteriores tienen una seria desventaja. Son difícilmente controlables y no se adaptan en función de los requerimientos de la red. Por estos motivos esta tecnología se ha quedado obsoleta y se ha sustituido por la, aún vigente, electrónica de potencia. La electrónica de potencia utiliza semiconductores para controlar la onda de tensión. Esta nueva tecnología

utiliza transistores y tiristores de potencia. Se suelen utilizar BJTs, MOSFETs, SITs y, en especial, IGBTs. Estos últimos tienen unas características (como alto rendimiento, poco espacio ocupado, baratos, etc.) tan convenientes que sea la tecnología más utilizada. Como en el caso de la tecnología analógica, a veces la configuración y las necesidades del sistema hace necesario hacer cambios en el valor de la tensión. Para este fin, se utiliza la modulación por ancho de pulso o PWM tanto en tiristores como en transistores [2].

Con la tecnología de los semiconductores, también se utilizaban los transformadores de potencia. Análogamente al caso de los semiconductores, los transformadores también se han sustituido por electrónica de potencia. La eliminación de los transformadores (tecnologías *transformerless*) supone un uso menor de filtros pasivos. Además al ser estructuras tan grandes, los costes de adquisición de los equipos es menor y el espacio ocupado por los SAIs es también menor. Los transformadores tienen grandes pérdidas en el cobre y en el hierro en forma de calor. Esto supone la instalación de equipos de refrigeración y ventilación, que además son caros y voluminosos. Por el contrario, la electrónica de potencia no tiene pérdidas tan elevadas, y, por tanto, los sistemas de refrigeración y ventilación son más baratos y más compactos [4].

## 2.4- Selección de un SAI

Antes de instalar un SAI es necesario tener en cuenta, a parte de las tecnologías de SAI, una serie de características de los mismos, entre las cuales se encuentran la autonomía de un SAI, su capacidad y su forma de onda, entre otras características [15] [16].

### 2.4.1- Autonomía de un SAI

Se define la autonomía de un SAI como el tiempo en el que el SAI es capaz de aportar energía a la carga crítica desde el momento en el que se produce un corte de suministro [13] [16].

Cada tipo de SAI tiene una tabla en la que el fabricante especifica la autonomía del SAI para una carga dada. Por otra parte, la potencia aparente de la carga conectada al SAI y la autonomía del SAI están inversamente relacionadas. Por tanto, si se aumenta la potencia conectada, disminuye el tiempo de autonomía; y viceversa [16].

No obstante, se puede aumentar, o disminuir, la potencia de la carga, de forma que no se comprometa el funcionamiento del SAI. Estos límites están determinados por las características operacionales del tipo de SAI utilizado [16].

### 2.4.2- Capacidad de un SAI

Se entiende como la capacidad del SAI como la máxima potencia que puede aportar por la carga [13]. Esta potencia debe ser igual o superior a la requerida por la utilización, que en este caso está compuesta de ordenadores y otros elementos electrónicos. Por lo tanto, se deben definir dos factores a la hora de seleccionar un SAI: potencia activa y aparente del SAI [16].

### 2.4.3- Forma de onda a la salida de un SAI

La forma de onda de salida del SAI debe ser lo más sinusoidal posible a fin de que el equipo acoplado a la salida, en especial equipos electrónicos, funcione correctamente [2].

### 2.4.4- Otras características

A la hora de elegir un SAI hay que considerar otros aspectos también clave, como [4] [16]:

- Número de SAIs: El número de SAIs necesarios para proteger una utilización depende de la distancia entre el servidor y los demás equipos. Entonces, se puede disponer distintas configuraciones de distribuir los SAIs en la red “aguas abajo” del SAI: un SAI para cada elemento (servidor y demás equipos), con un SAI común o con un SAI central unificado.
- Comunicación y monitorización de SAIs: Los SAIs deben comunicarse con un PC central mediante *software*, que se encarga de controlar los estados de carga de las baterías y de la red, y realizar paros en caso de detectar anomalías en la red. Los *softwares* modernos permiten que un solo SAI sea capaz de gestionar las variables de los elementos de control de red mediante el lenguaje SNMP (Protocolo de Gestión Simple de la Red).
- Tiempo de transferencia o conmutación: Cuando se produce una anomalía en la red o un corte de suministro pasa un tiempo desde que el SAI aísla la carga del resto de la red hasta que la batería alimenta la carga; este tiempo es el tiempo de transferencia o conmutación. Los sistemas informáticos no deben sufrir tiempos de conmutación superiores a 4 milisegundos, puesto que un corte prolongado puede provocar gran pérdida de datos.
- Dimensiones: Cuanta más potencia pueda pasar a través del SAI y mayor sea el número de baterías, mayor será el tamaño del SAI. Hay distintos modelos de gestión de espacio en función de las dimensiones del SAI: formatos de sobremesa, mesa o en *rack*.
- Tiempo de vida de las baterías: Los fabricantes especifican en la tabla de características de las baterías su tiempo de vida bajo condiciones normales (de humedad, temperatura, etc.). Este tiempo de vida ronda entre 3 y 4 años.
- Mecanismos de *by-pass*: Los SAIs pueden disponer de dos tipos de *by-pass*: automático y manual. Algunos SAIs tienen mecanismos de *deby-pass* automático para proteger el equipo de sobrecargas, conexiones y arranques de equipos de gran potencia, etc. Además de este

tipo de *by-pass*, algunos SAIs también pueden tener un *by-pass* manual para reparaciones o maniobras de mantenimiento.

- Regletas con filtrado y acondicionadores de línea: Son elementos adicionales que no son sustitutivos al SAI.
- Parámetros de alimentación: El número de fases, los valores de la tensión y de la frecuencia de la red deben corresponderse a los parámetros de funcionamiento del SAI seleccionado.
- Parámetros de alimentación de salida: El número de fases, los valores de la tensión y de la frecuencia de la carga deben corresponderse a los parámetros de funcionamiento del SAI seleccionado.

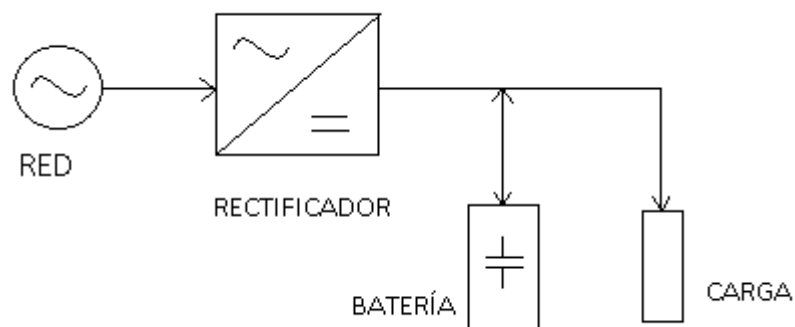
## 2.5- Tipos de SAIs

Los SAIs pueden clasificarse de distintas formas: según la corriente de carga y según el tipo de accionamiento [2].

### 2.5.1- Tipos de SAIs en función de la corriente de carga

Se pueden obtener dos configuraciones distintas de SAIs en función de la carga a la que alimenta el SAI: SAI de corriente continua y SAI de corriente alterna [2].

- SAI de corriente continua: Tratan de mantener la tensión en la carga en corriente continua mediante un rectificador. La Figura 2.2. muestra el funcionamiento de una SAI de corriente continua, en la que en caso de fallo de la red, se utiliza la batería conectada a la salida del rectificador, para alimentar la carga.



**Figura 2.2.:** SAI de corriente continua.

- SAI de corriente alterna: Tratan de mantener la tensión en la carga en corriente alterna. Este tipo de SAIs tienen distintas configuraciones, y se verán con más profundidad en los apartados 2.6.2 y 2.7 del presente TFG.

### 2.5.2- Tipos de SAIs según su tipo de accionamiento

Esta tipología también se puede subdividir en tres grupos: SAIs estático, SAIs mecánicos y SAIs híbridos [2].

En esta tipología de SAI, solo se contempla la posibilidad de cargas de corriente alterna.

#### 2.5.2.1- SAIs estáticos

Constructivamente, como se puede observar en la Figura 2.3., están definidos por un rectificador, una batería y un inversor [2]. Estos SAIs tienen distintas configuraciones, que se explicarán en el apartado 2.7.

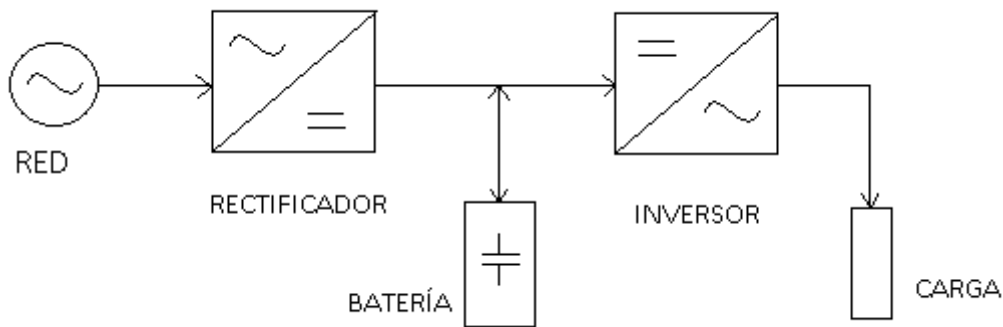


Figura 2.3.: SAI estático.

En condiciones de funcionamiento normal de la red, la línea alimenta el rectificador, y éste alimenta la batería y, a través del inversor, la carga. En caso de avería de la línea, no llega energía al rectificador, por lo que la batería se debe encargar de alimentar la carga a través del inversor [2].

#### 2.5.2.2- SAIs mecánicas

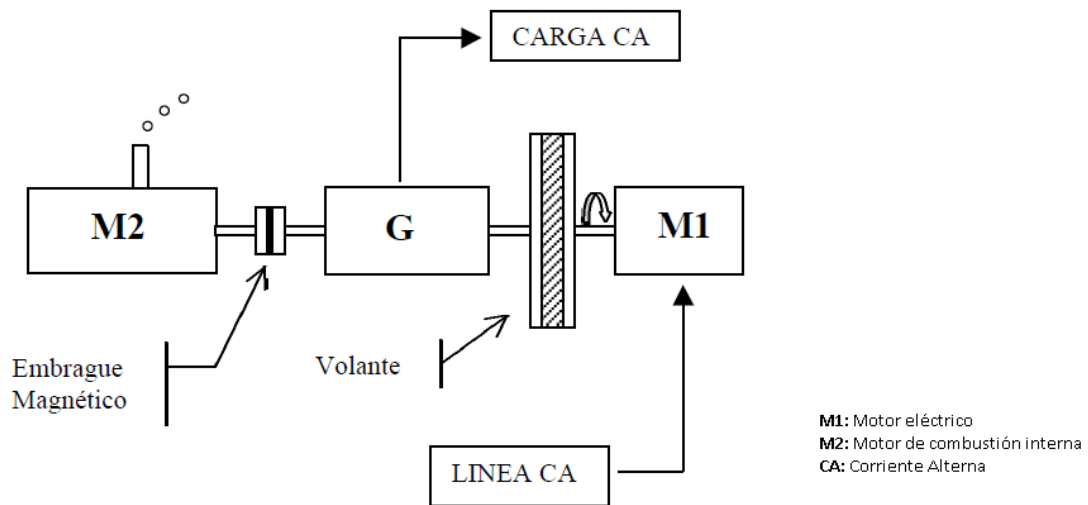
También se denominan SAIs rotativos, puesto que tienen elementos móviles. En este tipo de SAIs también hay varios tipos, pero sólo se hablarán de dos: SAIs con motor de combustión interna y SAIs con motor de corriente continua [2].

##### 2.5.2.2.1- SAIs con motor de combustión interna

Estos SAIs, como se muestra en la Figura 2.4., están constituidos por cuatro elementos principalmente: un alternador G, un motor eléctrico (alimentado externamente) M1, un motor de combustión interna M2 y la carga. El motor eléctrico es generalmente asíncrono y el motor de combustión es generalmente Diesel. El sistema G-M1-M2 está acoplado sobre el mismo



árbol, y el motor eléctrico está conectado al generador mediante un volante de inercia. Por último, el motor de combustión lo está a través de un embrague electromagnético [2].



**Figura 2.4.:** SAI con motor de combustión interna.

En estado normal de funcionamiento, la red alimenta el motor eléctrico, que acciona el generador eléctrico alimentado a su vez a la carga. En este estado el motor de combustión está aislado del sistema G-M1. Cuando se produce una falta de alimentación al motor eléctrico, el volante de inercia sigue girando gracias a la situación anterior. Por lo tanto, el volante de inercia actúa sobre el generador continuando la alimentación a la carga. Mientras tanto, se debe esperar que el motor de combustión entre en el mismo régimen de funcionamiento que el generador. Cuando el motor llegue a este régimen, el embrague electromagnético acopla el motor de combustión al eje, actuando sobre el generador, alimentando la carga de forma ininterrumpida [2].

En estado de fallo de la red, puede existir la posibilidad del retorno de energía a la red. En esta situación, se desacopla el motor de combustión durante 15 minutos, sin dejar de funcionar. Después de este periodo, se vuelve a acoplar el motor al eje. Para no llegar a esta situación se instala en bornes del motor eléctrico un interruptor de no retorno [2].

#### 2.5.2.2.2-**SAI con motor de corriente continua**

El esquema, que muestra la Figura 2.5., consiste de una máquina eléctrica rotativa M/G, una batería B, un motor de corriente continua (alimentado por la red eléctrica) M y un generador de corriente alterna G. La máquina M/G puede hacer las funciones de un motor y de un generador. El sistema M/G-M-G está acoplado sobre el mismo árbol [2].

En condiciones normales de funcionamiento de red, el motor acciona sobre el alternador alimentando, de esta forma la carga. A la vez, este movimiento hace que el elemento M/G actúe como generador, cargando por lo tanto la batería. En caso de fallo de la alimentación, la

batería se encarga de la alimentación de la carga. En este modo, M/G pasa a funcionar como motor, actuando sobre el generador, que por consiguiente puede alimentar la carga [2].

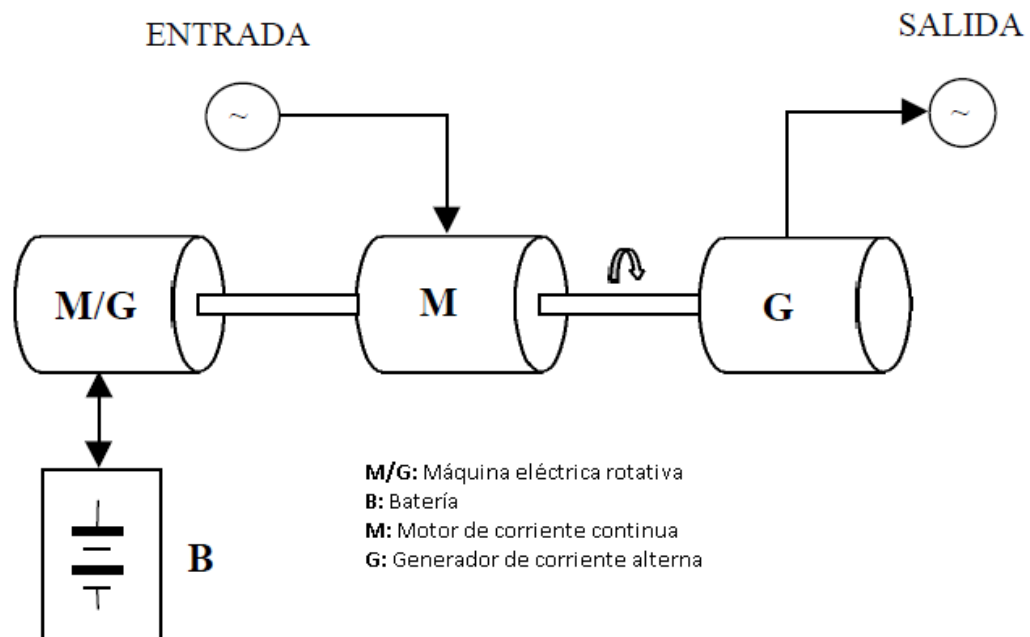


Figura 2.5.: Esquema de un SAI con motor de corriente continua.

### 2.5.2.3-SAIs híbridos

También se denominan SAIs mixtos porque se mezclan elementos estáticos y mecánicos. En este tipo de SAIs también hay varios tipos, pero sólo se hablarán de dos: sistemas con motor de corriente continua y alternador, y sistemas con motor de corriente alterna y alternador [2].

Ambos sistemas comparten el mismo esquema, mostrado con la Figura 2.6. [2].

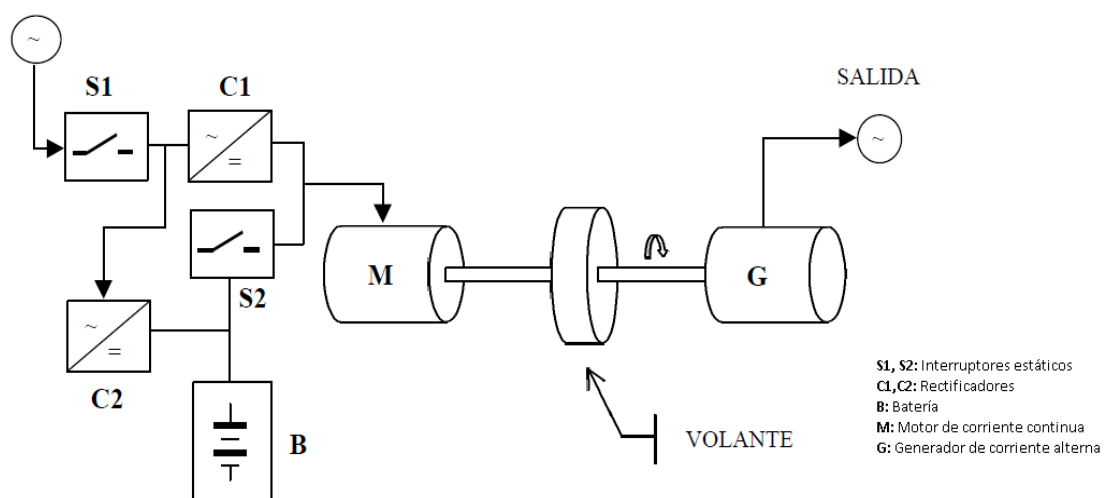


Figura 2.6.: SAI híbrido.

#### 2.5.2.3.1-Sistema con motor de corriente continua y alternador

Este sistema consiste de un motor de corriente continua M, un generador G, la batería B, elementos electrónicos y la carga. El motor y el generador están acoplados al mismo eje mediante un volante de inercia [2].

En condiciones normales de la red, el interruptor S1 está cerrado, dejando fluir la energía desde la red al motor a través del rectificador C1 y a la batería B a través del rectificador C2. Al alimentar el motor, éste actúa sobre el generador, alimentando de esta forma la carga crítica. El interruptor S2 se encuentra todo el tiempo abierto. Cuando sucede una falta en la red, el interruptor S1 se abre y S2 se cierra. Al cerrarse S2, éste deja fluir la energía de la batería al motor, permitiendo que actúe sobre el generador. De esta forma se sigue alimentando la carga [2].

#### 2.5.2.3.2-Sistema de corriente alterna y alternador

Este sistema consiste de un motor de corriente alterna M, un generador G, la batería B, elementos electrónicos y la carga. El motor y el generador están acoplados al mismo eje mediante un volante de inercia [2].

La configuración es similar al anterior. La diferencia radica en la sustitución del motor de continua por uno de alterna. Esto implica la instalación delante del mismo de un inversor [2]

El modo de funcionamiento es similar al caso anterior [2].

El inversor está formado por tiristores, lo que permite controlar la velocidad del motor y, por lo tanto, la frecuencia de la onda que entrega el generador a la carga. Esto supone una gran ventaja sobre todo cuando se pasa del modo de trabajo normal al de batería [2].

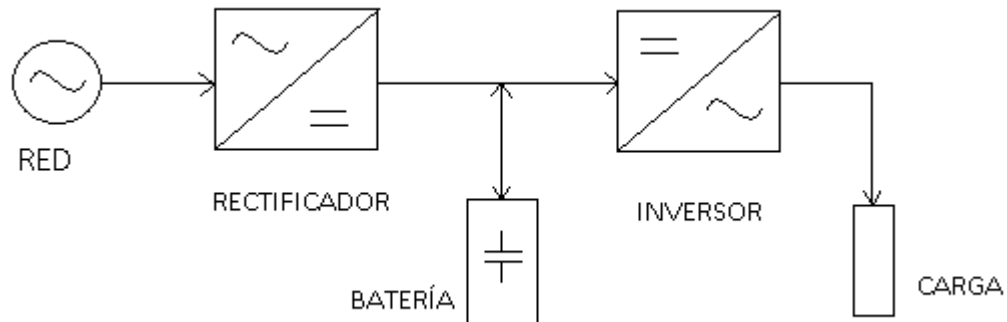
### 2.6- Tecnologías de los SAIs

Atendiendo a la tecnología implementada en los SAIs estáticos de corriente alterna, hay muchas tecnologías de SAIs. Sin embargo, entre las tecnologías más sencillas se encuentran [2]:

- SAI *on-line* (en línea).
- SAI *off-line*, *stand-by* o *no-break* (fuera de línea).
- SAI *line-interactive* (interactivo o paralelo).

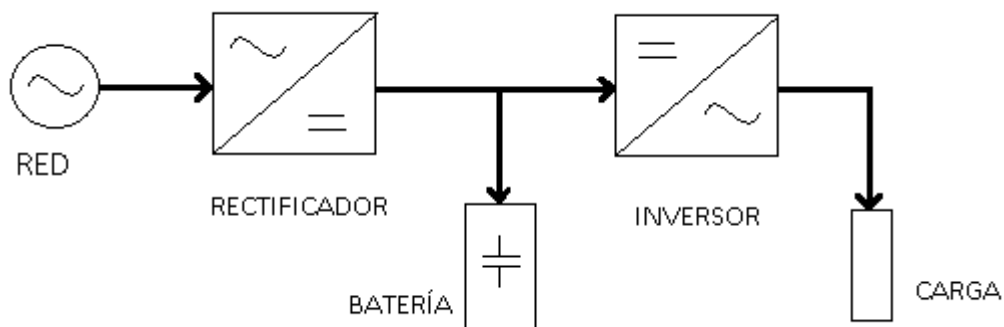
### 2.6.1- SAI on-line

Este SAI consiste de cuatro elementos principalmente, como se muestra en la Figura 2.7.: un rectificador (convertor de corriente alterna a corriente continua), una batería, un inversor (convertor de corriente continua a corriente alterna) y una carga [2].



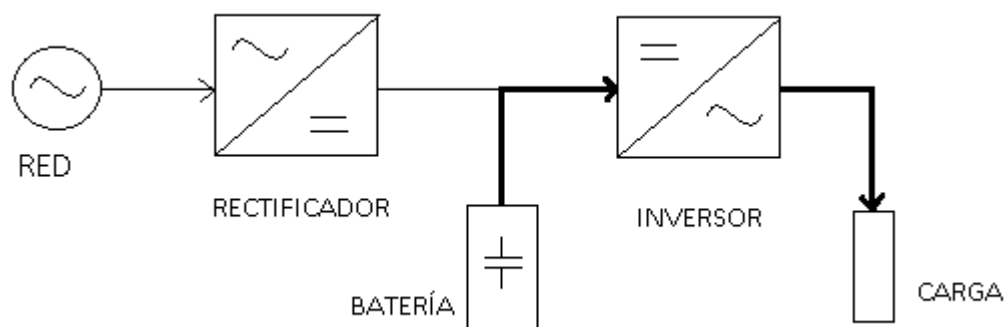
**Figura 2.7.:** SAI *on-line*.

En condiciones normales de la red (Figura 2.8.), la línea alimenta al rectificador. Desde el rectificador, se alimenta la batería y el inversor y este a su vez alimenta la carga [2].



**Figura 2.8.:** SAI *on-line* en condiciones normales de operación.

En caso de producirse alguna contingencia en la red que pueda provocar alteraciones en la carga, el SAI se desconecta de la línea de alimentación, como se muestra en Figura 2.9. Por lo tanto, la batería debe ocuparse de la alimentación de la carga a través del inversor [2].

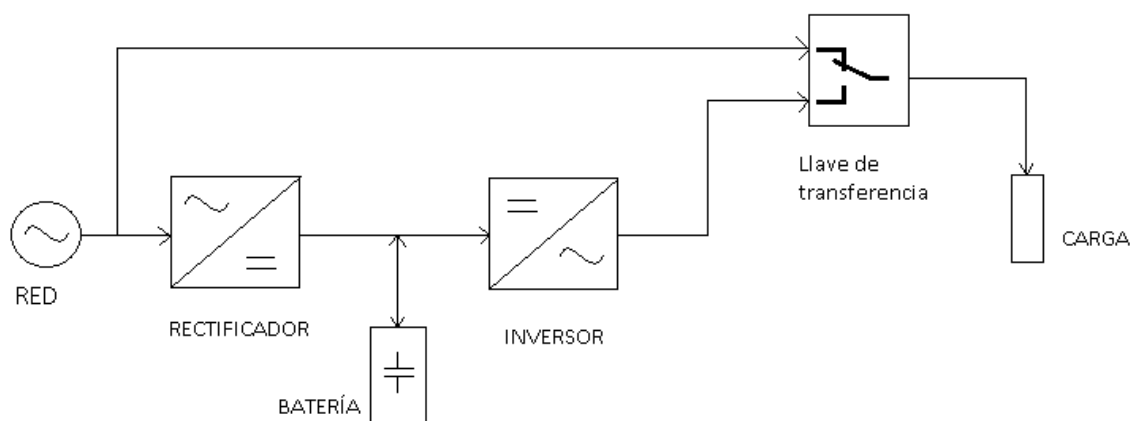


**Figura 2.9.:** SAI *on-line* en condiciones de falta de alimentación.

Esta tecnología tiene una gran ventaja, que consiste en que el tiempo de transferencia es prácticamente nulo [2].

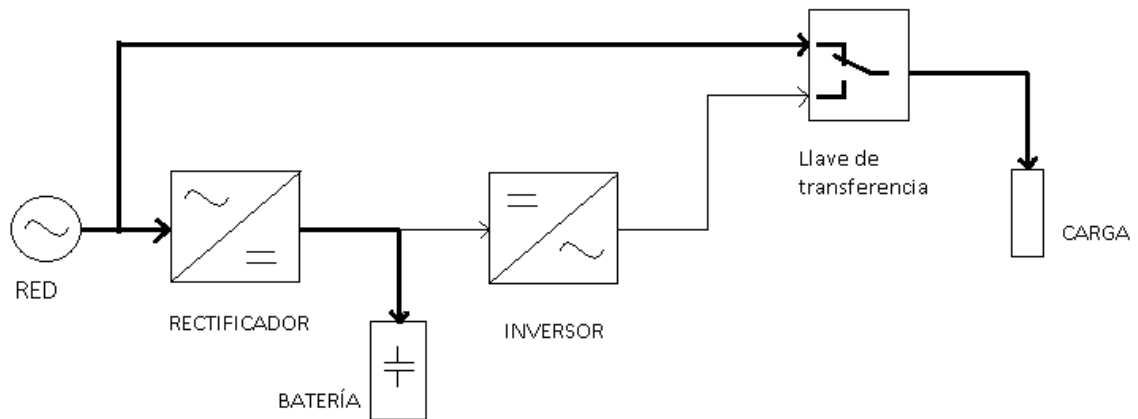
### 2.6.2- SAI off-line

Los SAIs de este tipo están formados principalmente por seis elementos mostrados en la Figura 2.10.: un rectificador, una batería, un *by-pass* estático, un inversor, una llave de transferencia y una carga. La llave de transferencia es un dispositivo estático o electromagnético, que según las condiciones de la red conmuta de un modo de trabajo a otro. El rectificador también se puede llamar cargador, porque este dispositivo carga la batería [2].



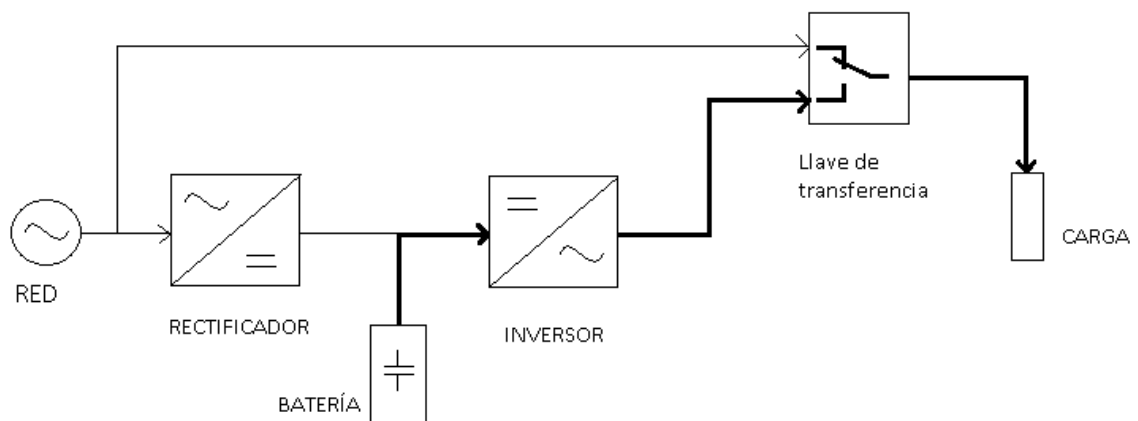
**Figura 2.10.:** SAI *off-line*.

En condiciones normales de red, como las indicadas en Figura 2.11., la llave de transferencia conecta la línea de *by-pass* a la carga. En esta situación, la carga es alimentada directamente desde la línea de alimentación. También ésta se ocupa de cargar la batería a través del cargador [2].



**Figura 2.11.:** SAI *off-line* en condiciones normales de operación.

Si se produce algún fallo en la alimentación (caso de Figura 2.12.), la llave conmuta, por lo que la carga pasa a alimentarse por la batería a través del inversor. Esto hace que el rectificador se desconecte [2].

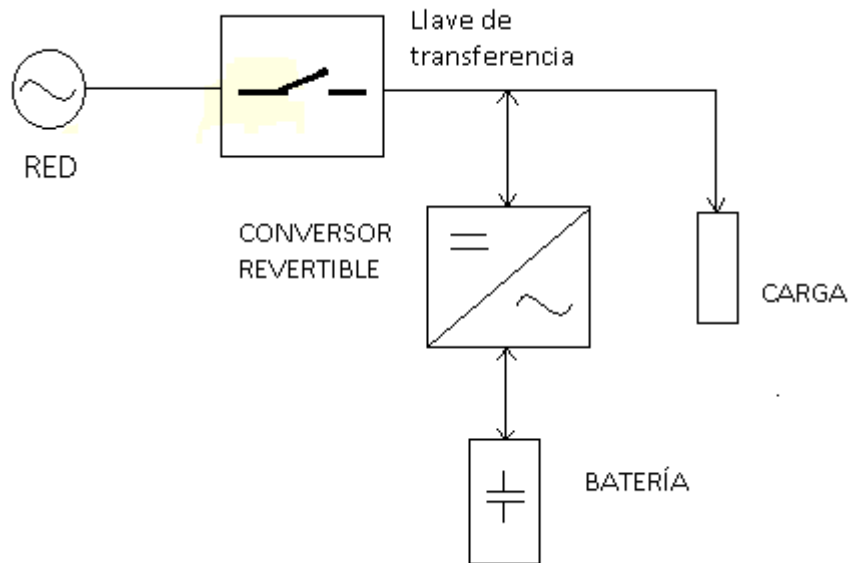


**Figura 2.12.:** SAI *off-line* en condiciones de falta de alimentación.

A diferencia de los SAIs *on-line*, este tipo de SAI tiene un tiempo de transferencia apreciable y tiene conectada la carga conectada directamente a la red en condiciones normales de la misma, por lo que cualquier irregularidad en la tensión de alimentación es transmitida directamente a la carga [2].

### 2.6.3- SAI interactivo

Este esquema está compuesto por cuatro componentes principalmente. Estos componentes se pueden ver en Figura 2.13.: una llave de transferencia, un convertor reversible, una batería y una carga. El convertor es capaz de pasar la corriente alterna a corriente continua, y viceversa. No obstante, en algunos SAIs es posible encontrar otra llave de transferencia a la entrada del convertor a fin de desconectar éste en caso de fallo [2].



**Figura 2.13.:** SAI interactivo.

En condiciones normales de funcionamiento de la red, la llave de transferencia se encuentra cerrada, por lo que la red alimenta directamente la carga. En este estado, la línea se ocupa de cargar la batería a través del convertidor, que funciona como un rectificador [2]

Ahora bien, si se produce algún corte de suministro, la llave se abre, por lo que el convertidor pasa a funcionar como un inversor. Así la batería empieza a alimentar la carga [2].

#### 5.6.4- Comparación entre SAIs

A pesar de que las cargas de los SAIs *off-line* sufren las perturbaciones de la red, este esquema de SAI tiene más aplicaciones, como en equipos informáticos personales, electromedicina, etc., que los SAI *on-line*. Esto se debe a que el coste del último es mayor. No obstante, es aconsejable utilizar un SAI *on-line* ante cargas muy críticas, en las que incluso un microcorte podría suponer grandes daños [2].

Todos los SAIs anteriormente explicados vuelven a sus condiciones normales de explotación cuando se retoma la energía de la red.

## 2.7- Factor de potencia y factor de distorsión armónica

Supóngase que al SAI utilizado para controlar una carga, cuyo factor de potencia (fdp) se va a suponer que 0,8, llega una señal con un fdp casi unitario y con una distorsión armónica baja (THD) [17]. Bajo estas condiciones, la red no sufre ningún impacto, por lo que la misma puede operar normalmente [15].

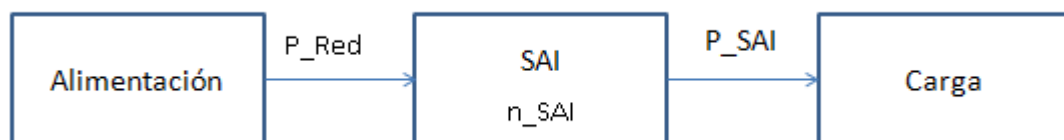
A causa de las cargas no lineales en la red de alimentación aumenta el número de armónicos en la tensión de alimentación, por lo que aumenta el THD. Estas cargas son

reactivas, por lo que un aumento del THD supone una disminución del fdp de la red. Las cargas no lineales en la línea también provocan aumentos en las corrientes por las mismas superior a la prevista, además de armónicos (de mayor frecuencia) en la onda de intensidad [15] [17].

Para controlar la corriente absorbida de la red, se añaden filtros de corrientes armónicas llamadas corrector del factor de potencia o PFC (*power factor correctors*) para que la intensidad a la salida tenga las características necesarias de THD y fdp. El THD de los SAIs con un PFC incorporado ha de ser menor al 3 % [15].

## 2.8- Dimensionamiento de un SAI

A la hora de seleccionar el SAI para la utilización requerida es necesario saber la potencia máxima del SAI. El dimensionamiento del SAI depende de la máxima potencia de la carga, el rendimiento del SAI, las características de la red de alimentación y fuentes de energía. El último aspecto es opcional [4].



**Figura 2.14.:** Esquema simplificado para dimensionar un SAI.

A partir de la Figura 2.14. se puede definir la potencia máxima que puede aportar el SAI [4]:

$$P_{SAI} = \eta_{SAI} \cdot P_{Red} \quad [1.1]$$

siendo:

$P_{SAI}$	Máxima potencia aportada por el SAI seleccionado. [kW]
$\eta_{SAI}$	Rendimiento del SAI seleccionado sin considerar la batería. [-]
$P_{Red}$	Máxima potencia que puede aportar la red de alimentación. [kW]

El rendimiento del SAI siempre es un dato conocido y proporcionado por el fabricante. Su valor sólo refleja el estado normal de funcionamiento sin considerar la carga de las baterías [4].



## 2.9- Esquemas de conexión del neutro a tierra de un SAI

La norma ITC-BT-08 define cinco esquemas de puesta a tierra de instalaciones de BT [18]. Cada uno de estos esquemas viene simbolizado por dos o tres letras. La primera letra define el tipo de conexión a tierra de la red:

- T: El neutro de la red está directamente conectado a tierra.
- I: El neutro de la red está aislado de tierra o bien tiene un neutro impedante.

En caso de que la red no tenga neutro, los elementos en tensión, están aislados eléctricamente.

Por otra parte, la segunda letra especifica el sistema de puestas a tierra de las masas de la instalación:

- T: Las masas se han puesto a tierra directamente.
- N: Las masas se han conectado al neutro de la red.

Para terminar, la tercera letra se utiliza sólo cuando las masas de la instalación estén conectadas al neutro de la red. Esta letra simboliza el tipo de conexión de neutro de la red:

- S: Las masas se conectan a un conductor (de protección) distinto al neutro de la red.
- C: El conductor de protección y el neutro de la red son el mismo cable.

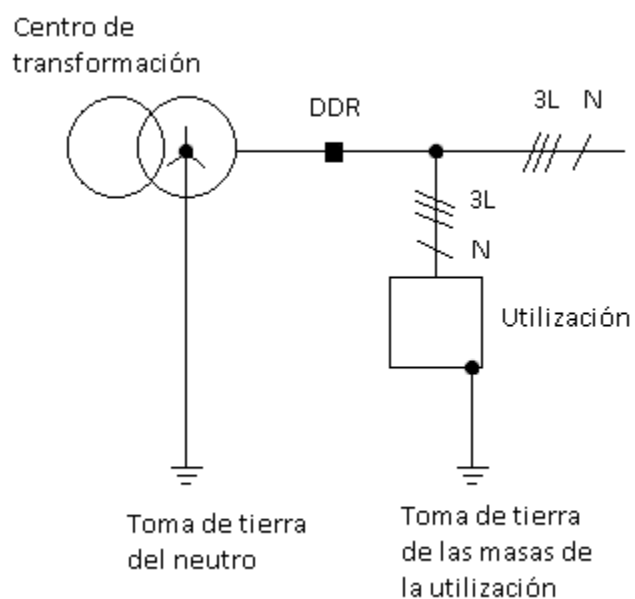
Este conductor se llamará conductor común de protección y de neutro (CPN) [3].

De acuerdo con la nomenclatura anterior, se pueden formar cinco regímenes de neutro o esquemas de puesta a tierra de una instalación de BT: TT, TN (TN-S y TN-C) e IT [3].

### 2.9.1- Esquema TT

El neutro de la red está puesto a tierra al igual que las masas de la instalación, al igual que se indica en la Figura 2.15. [3].

Además, se coloca un dispositivo de corriente diferencial residual (Dispositivo de Derivación Residual, DDR) en la salida del SAI [3].

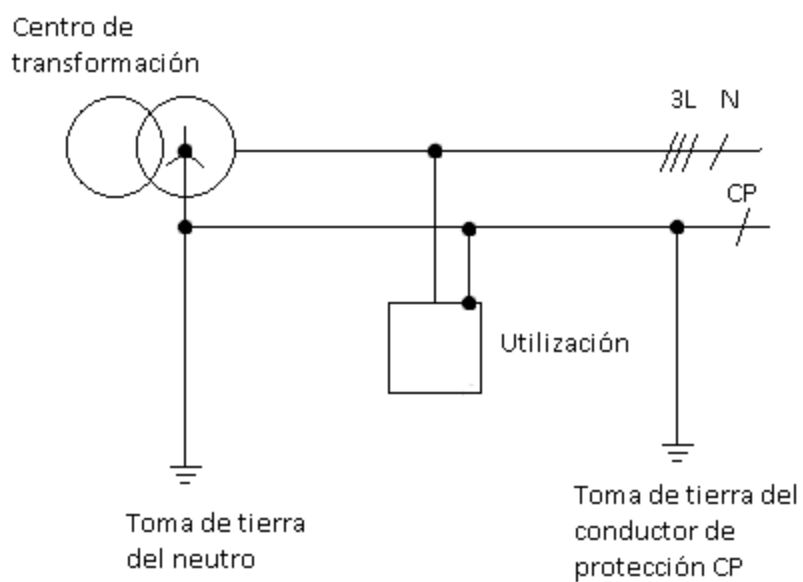


**Figura 2.15.:** Esquema de puesta a tierra TT.

### 2.9.2- Esquema TN

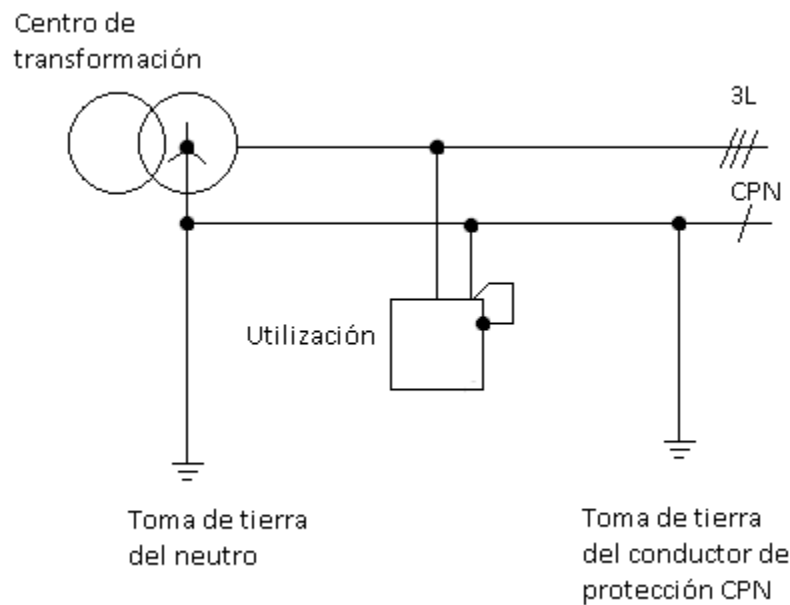
En este tipo de esquema es necesario colocar protecciones de sobreintensidad [3]:

- Esquema TN-S: El neutro de la red está puesto a tierra como se indica en Figura 2.16. Pero las masas de la instalación están conectadas a un conductor de protección (CP), distinto al neutro de la red [3].



**Figura 2.16.:** Esquema de puesta a tierra TN-S.

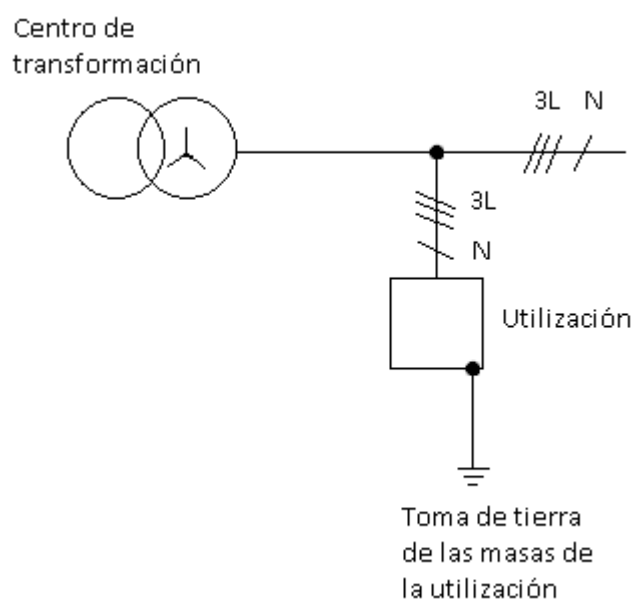
- Esquema TN-C: Como se ve en la Figura 2.17. este caso es semejante al anterior, aunque el conductor de protección coincide con el neutro de red (cable Conductor de protección de Neutro CPN) [3].



**Figura 2.17.:** Esquema de puesta a tierra TN-C.

### 2.9.3- Esquema IT o esquema de neutro aislado o impeditante

Este tipo de esquema tiene un neutro aislado de tierra o conectado a través de una impedancia. Las masas de la instalación, por otra parte, están puestas a tierra. Un ejemplo de un esquema IT de puesta a tierra es Figura 2.18. [3].



**Figura 2.18.:** Esquema de puesta a tierra IT.

Este tipo de configuración puede tener contactos indirectos por parte de personas u otros entes. Ahora bien, en caso de un primer defecto de aislamiento, se debe señalizarlo en ambos casos (neutro aislado e impedante) [3].

#### **2.9.5- Sistemas de puesta a tierra del SAI**

Los esquemas de puesta a tierra de un SAI pueden ser distintos a los de la instalación “aguas abajo” del SAI. Esta situación se debe principalmente al aislamiento galvánico o ausencia del mismo en las entradas y salidas del SAI. El aislamiento galvánico está estrechamente relacionado con transformadores de devanados separados [3].

Sólo por motivos de seguridad para las personas que puedan acceder al SAI, se va a considerar las configuraciones en las que se pueda instalar un interruptor diferencial.

##### **2.9.5.1-Sin aislamiento galvánico**

Los SAIs sin aislamiento galvánico no tienen más que un autotransformador en cada línea, incluyendo la línea de *by-pass* [3].

###### **2.9.5.1.1-Esquema TT**

En condiciones normales de funcionamiento normal de la red y sin aislamiento galvánico, el esquema de puesta a tierra tanto del secundario del transformador de alimentación, el SAI y la utilización tienen sus respectivas masas puestas a tierra. Con “condiciones normales de funcionamiento” se hace referencia a que al SAI llega una tensión en alterna o bien a que el neutro no tiene tensión [3] [19]. Un esquema simplificado de este tipo de distribución es Figura 2.23.

Cuando no llega tensión al SAI, un relé (R2 en la Figura 2.19.) conecta el neutro de salida del SAI a tierra. Otra alternativa a esta solución sería mediante la conexión del neutro del SAI a la puesta a tierra del transformador. Esta última conexión sería permanente, es decir, no se desconecta y conecta en función de la tensión de entrada.

Se pueden y deben conectar DDRs del SAI, en las entradas al SAI y las salidas del mismo [3] [19].

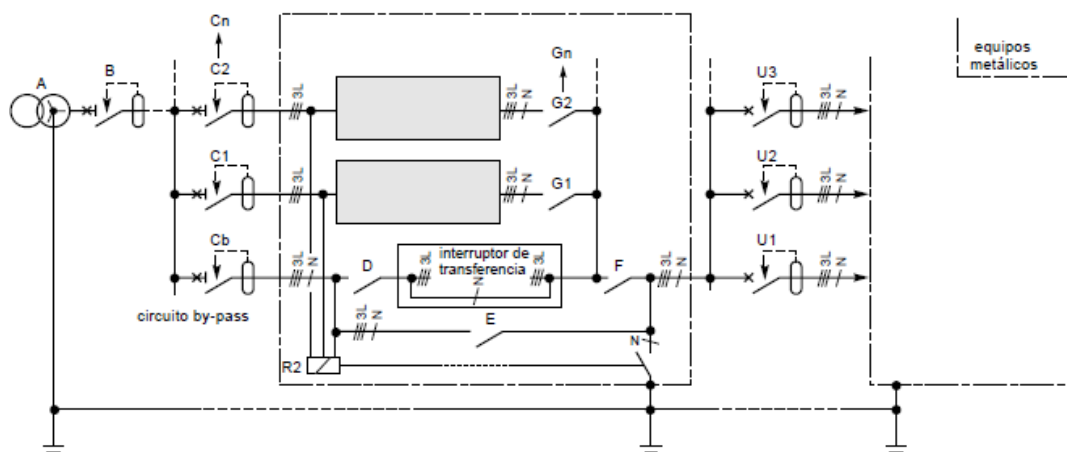


Figura 2.19.: Esquema TT de un SAI sin aislamiento galvánico.

### 2.9.5.1.2-Esquema TN

#### Esquema TN-C “aguas arriba” del SAI

Se van a considerar que la instalación “aguas abajo” puede tener dos esquemas distintos: TN-C y TN-S. En ambos casos, el neutro del secundario del transformador de alimentación está conectado al CPN.

- Esquema TN-C “aguas abajo” del SAI: Este caso se muestra en la Figura 2.20. Las masas del SAI y de la utilización están conectadas al CPN también. Se conecta el conductor de neutro de salida del SAI al CPN de forma permanente [3].

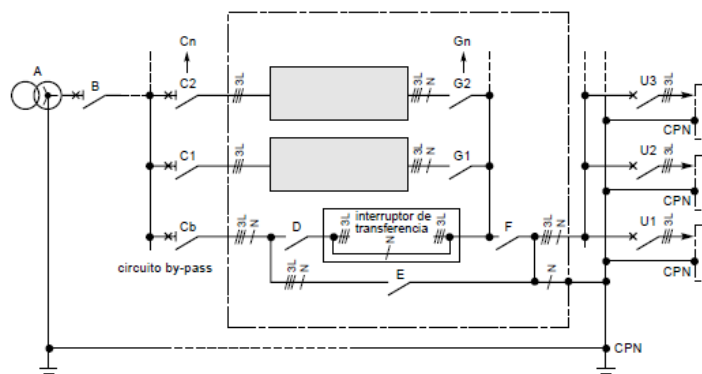
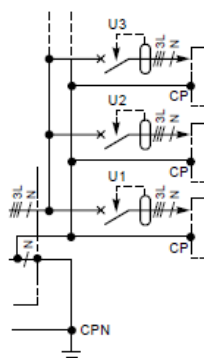


Figura 2.20.: Esquema TN-C/TN-C de un SAI sin aislamiento galvánico.

- Esquema TN-S “aguas abajo” del SAI: Este caso se muestra en la Figura 2.21. (sólo se representan las utilidades, ya que el SAI y el transformador corresponden a los de la Figura 2.20.). La masa del SAI está conectada al CPN. Se conecta el conductor de neutro de salida del SAI al CPN de forma permanente. Las utilidades tienen conectados sus neutros y masas a un conductor independiente al CPN. El CPN se conecta a la salida del SAI [3] [19].



**Figura 2.21.:** Esquema TN-C/TN-S de un SAI sin aislamiento galvánico.

### Esquema TN-S “aguas arriba” del SAI

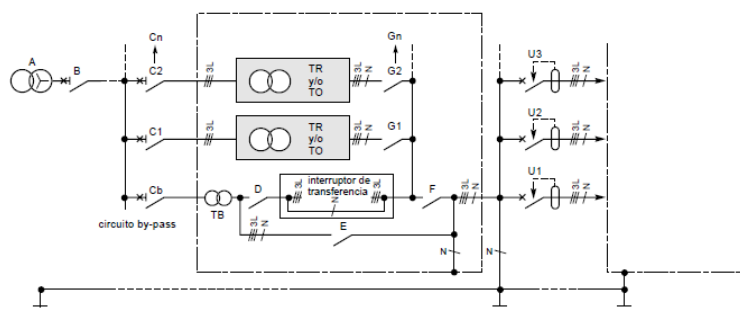
Con una instalación “aguas arriba” TN-S, sólo es posible poner el neutro de la instalación “aguas abajo” del SAI con una configuración distinta a la adoptada “aguas arriba” del SAI. Esta solución requiere, además, de aislamiento galvánico del SAI [3].

### 2.9.5.2-Con aislamiento galvánico

Los SAIs con aislamiento galvánico tienen en cada línea dos autotransformadores de devanados separados, incluyendo la línea de *by-pass*. Por lo tanto, el aislamiento galvánico conlleva una gran ventaja a la hora de diseñar la instalación deseada “aguas abajo” del SAI: sólo es necesario diseñar el esquema de puesta a tierra del neutro de esta instalación. Por lo tanto, sólo se verá el régimen de neutro de la instalación “aguas abajo” [3].

#### 2.9.5.2.1-Esquema TT

La instalación “aguas abajo” del SAI tiene su neutro puesto a tierra conectado a tierra justamente en la salida del SAI. Las masas del SAI y de la utilización están conectadas a tierra. Además, es conveniente y necesario instalar un DDR en cada una de las líneas de salida. Un ejemplo de este régimen de neutro es la Figura 2.22. [3].



**Figura 2.22.:** Esquema TT de un SAI con aislamiento galvánico.

### 2.9.5.2.2-Esquema TN

Como en los esquemas TT, el neutro de la utilización está puesto a tierra en la salida del SAI. Se utilizan protecciones de sobreintensidad a fin de evitar descargas eléctricas a personas. Hay dos tipos de TN: TN-C y TN-S [3].

#### Esquema TN-C

En caso de utilizar un esquema TN-C en la utilización, sale del SAI un CPN, como se indica en la Figura 2.23. Las masas de las utilidades y del SAI están puestas a tierra [3].

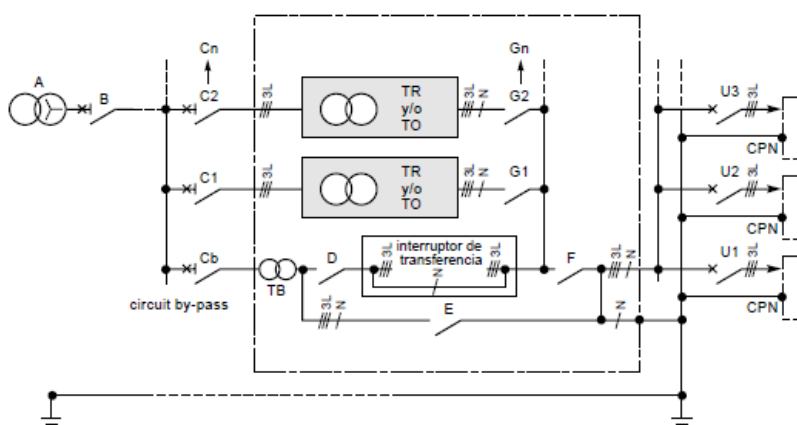


Figura 2.23.: Esquema TN-C de un SAI con aislamiento galvánico.

#### Esquema TN-S

Ésta es la configuración más frecuente. En este esquema se tienden un conductor CP desde el SAI. Se pueden acoplar en cada salida del SAI un DDR. La Figura 2.24. tiene un esquema de protección TN-S “aguas abajo”. Además en esta figura se considera íntegramente el SAI, cambiando únicamente las utilidades [3].

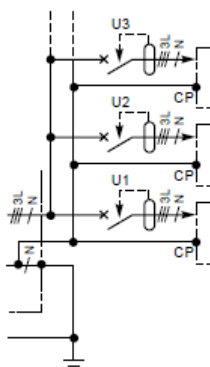


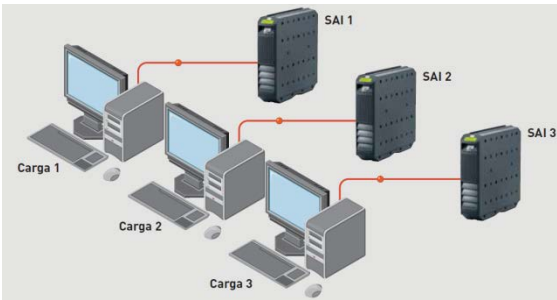
Figura 2.24.: Esquema TN-S de un SAI con aislamiento galvánico.

## 2.10- Arquitectura entre los SAIs y las cargas

Existen 4 arquitecturas o formas de configurar sistemas SAI-carga: distribuida, centralizada, modular y modular granular [4].

### 2.10.1-Arquitectura distribuida

Esta configuración consiste en que cada carga es conectada a su propio SAI; es decir, no se comparten SAIs, tal y como se indica en la Figura 2.25. [4].



**Figura 2.25.:** Arquitectura distribuida entre SAIs y cargas.

En la Tabla 2.3. se muestran las ventajas y desventajas de la arquitectura distribuida [4].

**Tabla 2.3.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura distribuida entre SAIs y cargas.

Ventajas	Desventajas
Se pueden utilizar las tomas de pared existentes.	Gestión y monitorización complejos: varios SAIs situados en varios puntos.
Dimensionamiento dedicado a las cargas individuales a proteger.	Mantenimiento prolongado o complejo.
SAIs de pequeño tamaño independientes cercanos a las cargas a proteger.	Apagado de emergencia a gestionar para cada máquina.
Expansiones o renovaciones dedicadas a cada emplazamiento individual de los SAIs.	Dificultad al realizar la redundancia.
Los SAIs preexistentes pueden ser mantenidos y utilizados junto con los nuevos.	Mayores costes de gestión y mantenimiento. Mayores consumos eléctricos.

Este esquema se emplea preferiblemente cuando se intenta proteger una utilización no muy importante y cuando la distribución de las cargas dificulta implementar esquemas más complejos y menos costosos [4].



2.10.2-Arquitectura centralizada

Como se puede observar en la Figura 2.26, en esta arquitectura un SAI (central) se ocupa de controlar y vigilar varias cargas simultáneamente [4].

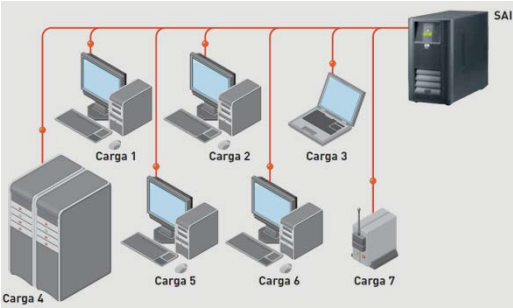


Figura 2.26.: Arquitectura centralizada entre SAIs y cargas.

En la Tabla 2.4. se muestran las ventajas y desventajas de la arquitectura centralizada [4]:

Tabla 2.4.: Ventajas y desventajas de la arquitectura centralizada entre SAIs y cargas.

Ventajas	Desventajas
Un único sistema a instalar y gestionar (más simple y más económico de varios pequeños sistemas).	Un único sistema puede constituir un único punto de fallo (críticidad de distribución). Se puede obviar con instalaciones redundantes, con el consiguiente aumento de los costes.
Un único sistema a mantener (más simple y más económico que varios pequeños sistemas).	El SAI en general está lejos de la carga a proteger.
Tiempo de vida superior, tanto para el SAI que para las baterías.	Mayores dimensiones totales.
Mayor eficiencia energética (menos consumos eléctricos).	Los costes de instalación, cableado y expansión de autonomía pueden ser altos.
En general, el SAI está posicionado en un local técnico protegido y seguro, en condiciones ambientales óptimas.	Generalmente, es necesario personal técnico especializado para la instalación y el mantenimiento.

Se utiliza la arquitectura centralizada cuando es posible proteger todo un sistema completo de cargas con un único SAI [4].

2.10.3-Arquitectura modular

Una arquitectura modular dispone de varios SAIs independientes. Estos SAIs se llaman en esta arquitectura módulos. Por lo tanto, un SAI modular es capaz de aumentar la autonomía y

la potencia del sistema SAI añadiendo módulos, o desconectándolos en función de las necesidades de la carga [4].

En la Tabla 2.5. se muestran las ventajas y desventajas de la arquitectura modular [4]:

**Tabla 2.5.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura modular entre SAIs y cargas.

Ventajas	Desventajas
Todas las ventajas de la arquitectura centralizada.	El coste de compra inicial puede ser mayor.
Facilidad para obtener redundancia agregando uno o más módulos.	Podría ser necesario personal técnico especializado en instalación y el mantenimiento.
Instalación y expansibilidad más fáciles y rápidas respecto de la solución centralizada.	Mayor espacio ocupado respecto de la arquitectura distribuida.
Mantenimiento y distribución más fáciles y rápidos.	
Espacio ocupado reducido respecto de la solución centralizada (en especial, en caso de redundancia).	

Estos esquemas son interesantes en aplicaciones en las que una arquitectura centraliza no es factible, puesto que la carga acoplada al SAI tiene una configuración compleja (varias cargas que se encienden apagan de forma independiente al resto, algunas cargas demasiado elevadas, distribución de las cargas es demasiado amplia, etc.) [4].

### 2.10.4-Arquitectura modular granular

En una arquitectura modular puede fallar un módulo, por lo que cada módulo debe ser de pequeña potencia a fin de que un módulo averiado no influya en el comportamiento general de toda estructura, como se muestra en la Figura 2.27. En esta premisa se basa la arquitectura modular granular [4].



**Figura 2.27.:** Arquitectura modular granular entre SAIs y cargas.

En la Tabla 2.6. se muestran las ventajas y desventajas de la arquitectura modular granular [4]:

**Tabla 2.6.:** Ventajas y desventajas de la arquitectura modular granular entre SAIs y cargas.

Ventajas	Desventajas
Instalación, mantenimiento y expansibilidad más fáciles y rápidos respecto de la solución modular.	El coste de compra inicial podría ser mayor.
Facilidad para obtener redundancia interna e inmunidad respecto de las averías. Un módulo individual averiado comporta una pequeña pérdida de potencia respecto de la potencia nominal.	
En caso de averías por configuraciones no redundantes, tiempos de parada de máquina mínimos.	
Mayor eficiencia energética, consumos reducidos.	
Dimensionamiento preciso y óptimo: con pequeños módulos es más fácil acercarse a la potencia efectiva de la carga.	

Estas configuraciones tienen las mismas aplicaciones que en la arquitectura modular [4].

## 2.11- Gestión y comunicación entre SAIs

En muchas aplicaciones, los SAIs deben comunicarse con equipos que se encuentran a distancia del SAI. El SAI también debe controlarlos y vigilarlos de forma rápida y eficaz, además de permitir maniobras de mantenimiento en todos los modos de funcionamiento rápidamente [4].

Las funciones de gestión y comunicación entre los equipos y los SAIs se llevan a cabo mediante tarjetas de comunicación y de red. No obstante, para dar mayor seguridad y tranquilidad del cliente, algunos SAIs pueden tener funciones de supervisión adicionales.

Hay cinco formas de implementar la gestión y comunicación de los SAIs: protección local, extensión de la protección local, integración a la red IP, gestión de varios SAIs y monitorización ambiental.

### 2.11.1- Protección local

La protección local es interesante implementarla para sistemas de ordenadores individuales (servidor o puesto de trabajo) y los periféricos conectados a él de forma directa

mediante un USB o una conexión RS232. Este servidor debe tener incorporado un *software* de gestión del SAI [4].

En ocasiones el servidor está conectado a una red TCP/IP, a la que también se conecta una serie de ordenadores [4].

La gran ventaja de este tipo de protección reside en su bajo coste de implementación [4].

#### **2.11.2- Extensión de la protección local**

La base del planteamiento de este tipo de gestión se basa en la protección local. La diferencia entre ambas es el número de los ordenadores conectados al servidor. Cada uno de estos ordenadores tiene instalado un *software* especial. Este *software* permite a los ordenadores recibir datos del SAI a través del servidor, y se actuará al respecto. Es necesario añadir que, a diferencia del caso anterior, la red TPC/IP aquí es obligatoria y necesaria [4].

La extensión de la protección comparte la ventaja con la protección local de la implementación barata [4].

#### **2.11.3- Integración a la red IP**

Esta configuración tiene semejante estructura a la anterior; sólo se sustituye el servidor por una interfaz de red. Ésta es una red IP, que además tiene un *software* de gestión del SAI. Los ordenadores no necesitan de ningún *software* especial para trabajar con los datos recibidos del SAI y la comunicación se establece por medio de una tarjeta de red [4].

La integración de la red IP al servidor de comunicación conlleva una serie de ventajas. No es necesario que los equipos estén relativamente cerca. Además, como no hay ningún servidor como intermediario de la información, aumenta la fiabilidad de la transferencia de datos y, por lo tanto, aumenta la seguridad de alimentación a los ordenadores [4].

#### **2.11.4- Gestión de varios SAIs**

Un servidor central tiene un *software* capaz de monitorizar varios SAIs locales o remotos, incluso el número de SAIs sea elevado. Sin embargo, este servidor central no se comunica directamente con los SAIs sino por medio de servidores locales. Estos servidores tienen sus respectivos sistemas de monitorización con sus propios SAIs. Los servidores locales envían señales al servidor central, que las almacena en una base de datos. En función de estas señales, el servidor central detecta el SAI que ha generado la alarma y envía una orden, por medio de una red IP, al servidor local para que éste actúe de la forma adecuada [4].

Estos sistemas requieren de un sistema estándar y recepción de alarmas. Esto supone una gran ventaja, ya que el servidor central puede acceder a cada SAI sin necesidad de saber su dirección IP [4].

#### **2.11.5-Monitorización ambiental**

Además de la monitorización del SAI, es necesario controlar parámetros ambientales, como la humedad y la temperatura del emplazamiento donde el SAI se encuentra, sensores de humos, etc. Hay sensores analógicos o digitales recogen los valores de estos parámetros, cuyos valores son almacenados en una base de datos y enviados a una interfaz de red. Esta red, por su parte, envía las señales de alarma y actuación al ordenador o servidor controlado por el SAI cuando se sobrepasan los valores límites [4].

### **2.12- Configuración de diseños de sistemas de SAIs**

En ocasiones se pueden disponer de uno o varios SAIs con distintos esquemas a fin de adecuarse a las necesidades de la instalación. Algunos tipos de configuraciones de SAIs son: SAI independiente, SAIs en cascada, SAIs en paralelo y SAIs redundantes distribuidos.

#### **2.12.1-SAI independiente**

Un SAI independiente consiste en un único módulo SAI o en varios módulos SAIs conectados en paralelo, como se indica en la Figura 2.28. En ambas situaciones, la capacidad del SAI, o del conjunto si es el caso, tiene que ser como mínimo igual a la carga conectada [5].

En la Tabla 2.7. se muestran las ventajas y desventajas de los SAIs independientes [5].

**Tabla 2.7.:** Ventajas y desventajas de SAIs independientes.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Instalación del equipo sencilla y rentable.	Disponibilidad limitada en caso de fallo del SAI.
Gran eficiencia, puesto que se utiliza toda la capacidad.	Posibilidad de continuidad de suministro en la carga durante maniobras de mantenimiento.
Disponibilidad superior a la de la red eléctrica.	Límite de protección de la carga por ausencia de redundancias en la alimentación ante fallos del SAI.
Posibilidad del aumento de la capacidad en caso de aumentar la carga.	Existencia de varios puntos de fallos únicos.

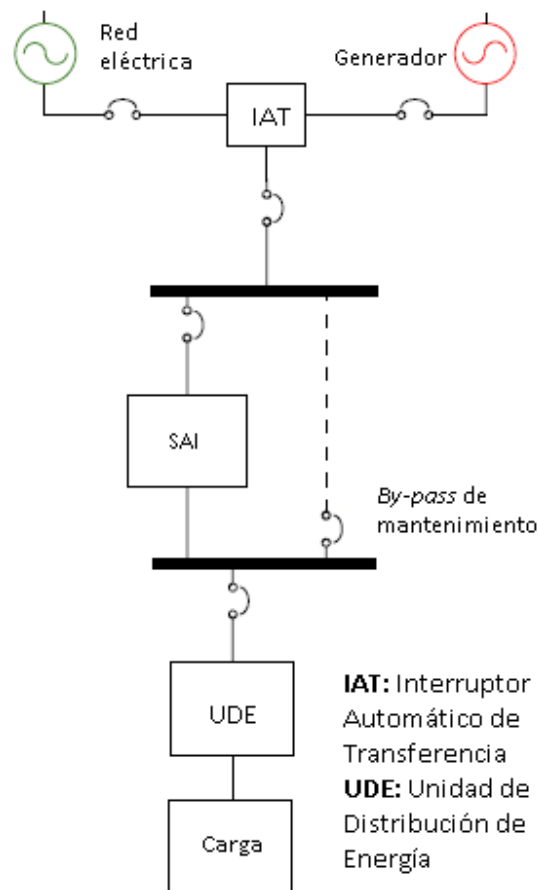


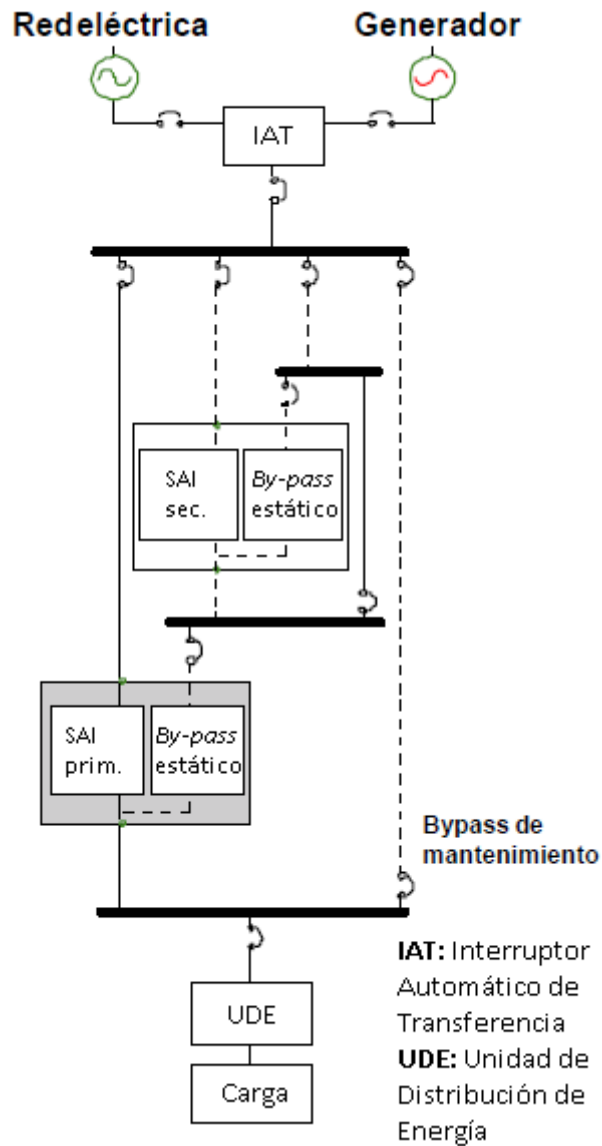
Figura 2.28.: SAI independiente.

### 2.12.2-SAIs en cascada

En la Figura 2.29. se puede ver que este tipo de SAIs está formado por dos unidades de SAI, uno a sucesión del otro. Uno de ellos se denomina el SAI principal o “primario”, que alimenta la carga. El otro es el SAI “secundario” o “de aislación”, que alimenta el *by-pass* estático del SAI principal. En ambos SAIs pueden estar formados por varios módulos respectivamente, de forma que la capacidad total corresponda a la carga crítica. Esto no quiere decir que la capacidad total del SAI primario y del SAI de aislación sea igual a la carga [5].

Bajo condiciones normales de explotación, el SAI principal se encarga de alimentar totalmente la carga, quedando el SAI secundario se encuentra aislado del sistema. Ante algún fallo en el SAI primario, de forma que se ponga en peligro la alimentación de la carga, el flujo de potencia se transfiere al *by-pass* estático del SAI principal. Esta línea está alimentada por el SAI secundario. Ahora bien, el cambio en el sistema de alimentación tiene que efectuarse instantáneamente y correctamente; el SAI secundario debe ser capaz de adecuarse rápidamente a la alimentación a la carga, ya que una sincronización defectuosa provocaría que la alimentación se efectuara por medio de las dos líneas de *by-pass* estático. Por otra parte, en caso de mantenimiento de alguna unidad de SAI, la carga se transfiere a la otra unidad de SAI [5].

En Tabla 2.8 se muestran las ventajas y desventajas de los SAIs en cascada [5].



**Figura 2.29.:** SAI en cascada.

**Tabla 2.8.:** Ventajas y desventajas de los SAIs en cascada.

Ventajas	Desventajas
Los equipos no necesitan ser de la misma marca o modelo.	Es necesaria la operación del <i>by-pass</i> estático del SAI principal en caso de fallo de éste.
Aumento de la redundancia de estos SAIs con respecto a los SAIs independientes.	El SAI de aislación debe ser capaz de soportar aumentos repentinos de carga (es decir, este SAI en caso de fallo del principal debe pasar de tener ausencia de carga acoplada al 100 % de la carga crítica).
No es necesario una sincronización entre los	Los sistemas de conmutación y control son

equipos, salvo en caso de fallo del SAI principal.	complicados y costosos.
Es un sistema económico.	El SAI secundario está infrautilizado, ya que sólo actúa cuando falla el SAI principal se encuentra inoperativo.
	Es necesaria la utilización de más componentes, como buses, interruptores de transferencia y de aislamiento, etc., lo que aumenta la posibilidad de fallo a diferencia de los SAIs independiente.
	Existencia de varios puntos de fallo únicos.

### 2.12.3-SAIs en paralelo

Este tipo de configuración consiste en varias unidades de SAIs conectadas en paralelo con una salida común, así indicado en la Figura 2.30. Todas las unidades de SAI deben ser de la misma capacidad y del mismo fabricante. El número máximo de SAIs está determinado principalmente por el fabricante de los SAIs [5].

En funcionamiento normal, los SAIs en paralelo comparten equitativamente la carga. Cuando uno de estos SAIs queda inoperativo, tanto por fallo del mismo o por su mantenimiento, la carga que aporta es distribuida entre todos los demás SAIs también de forma igualitaria [5].

En la Tabla 2.9. se muestran las ventajas y desventajas de los SAIs en cascada [5].

**Tabla 2.9.:** Ventajas y desventajas de los SAIs en paralelo.

Ventajas	Desventajas
Es posible es posible variar la capacidad los SAIs en función de las necesidades existentes, respetando los límites funcionales del sistema.	Como en los dos casos anteriores, existencia de varios puntos de fallo únicos.
Tienen un nivel de disponibilidad mayor que en las configuraciones anteriores por la capacidad adicional que tienen los SAIs en paralelo en comparación con los independientes y los dispuestos en cascada.	Los niveles de eficiencia son bajos, ya que cada unidad SAI tiene un aporte de carga muy bajo; esto se debe a que la eficiencia de los SAIs generalmente disminuye cuando la carga se aleja a su carga nominal.
Tiene mayor redundancia de la alimentación en comparación a los SAIs en cascada.	Constructivamente se necesitan de interruptores estáticos capaces de distribuir equitativamente la carga entre los SAIs en paralelo (se admite un pequeño margen de diferencia entre las cargas aportadas), por lo que se aumentan los costes de equipos.
En comparación con los SAIs en cascada, los SAIs	



en paralelo tienen menos probabilidades de fallo son menores, ya que tienen menos disyuntores. Además, en esquemas en paralelo no se producen transiciones de carga escalonados puesto que todas las unidades están siempre conectadas.

Son esquemas rentables y sencillos.

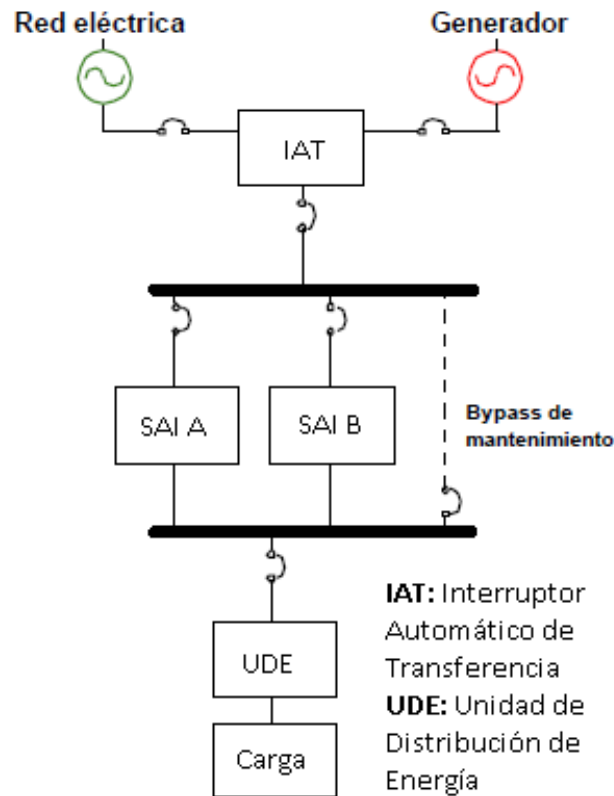


Figura 2.30.: SAI en paralelo.

Los sistemas de alimentación de alimentación ininterrumpida en paralelo pueden conectarse de dos formas distintas [6]:

- Configuración en paralelo distribuido.
- Configuración en paralelo concentrado.

#### 2.12.3.1-Configuración en paralelo distribuido

Este tipo simplemente consiste de unidades independientes de SAI en paralelo, tal como se ve en la Figura 2.31.; es decir, cada unidad tiene sus propios componentes (electrónica, batería y *by-pass* estático). Además, cabe mencionar que este sistema tiene acoplado un *by-pass* manual para el conjunto en general [6].

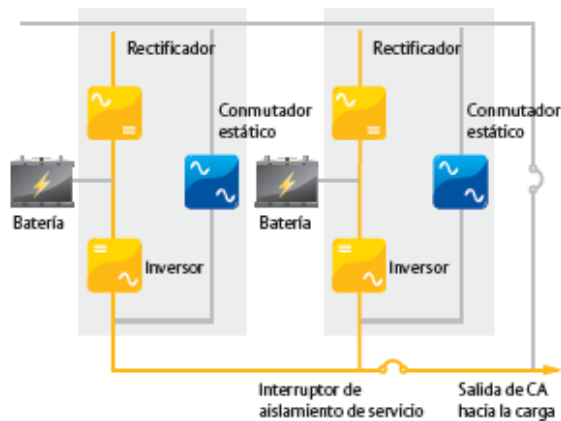


Figura 2.31.: SAI en paralelo distribuido.

### 2.12.3.2-Configuración en paralelo centralizado

A diferencia de la configuración anterior, cada *by-pass* estático de cada unidad queda desactivado, como se puede comprobar en la Figura 2.32. Para compensar esta característica (poco deseada), se utiliza un conmutador estático principal (en terminología anglosajona que es capaz de funcionar para cualquier SAI [6].

La principal diferencia entre ambas combinaciones es la simplicidad de funcionamiento, operación y control de este último caso en comparación al primero [6].

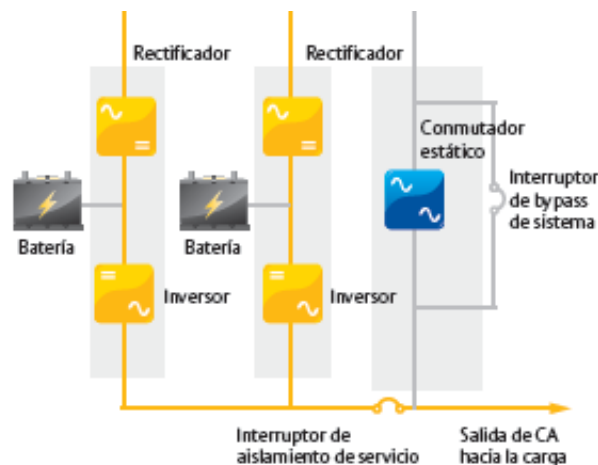


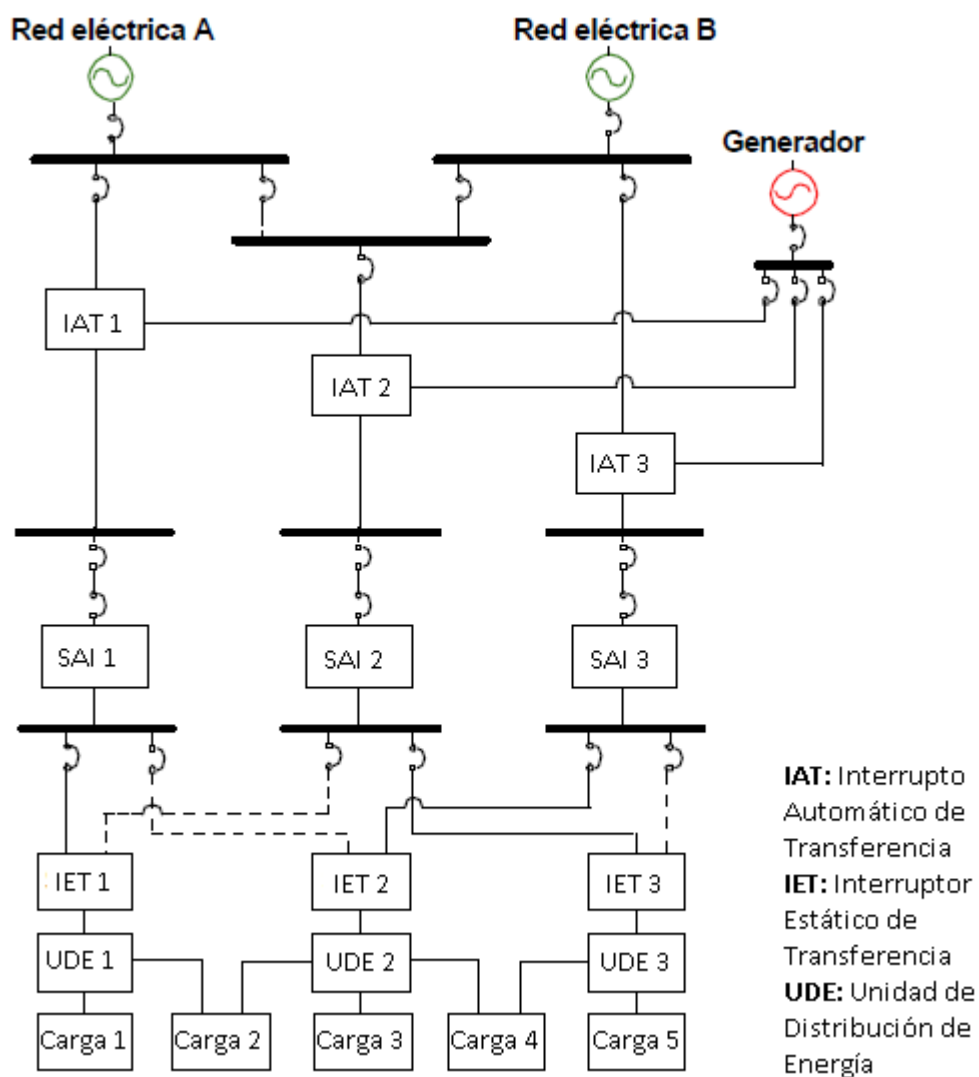
Figura 2.32.: SAI en paralelo centralizado.

### 2.12.4-SAIs redundantes distribuidos

Este tipo de esquemas consiste de tres o más unidades SAI, cada uno con entradas y salidas independientes, como se indica en la Figura 2.33. La mayor diferencia de este modelo en comparación a los anteriores es que la carga crítica se conecta a estos buses de salidas a través de diversos componentes que dirigen la energía de forma conveniente. No obstante, en este modelo se suele tener una carga distribuida [5].

En funcionamiento normal, los flujos de carga se distribuyen uniformemente entre todas las ramas. Por otro lado, en caso de fallo de algún componente o equipo, el sistema distribuye la corriente que tendría que pasar por los equipos inhabilitados, entre los componentes en funcionamiento [5].

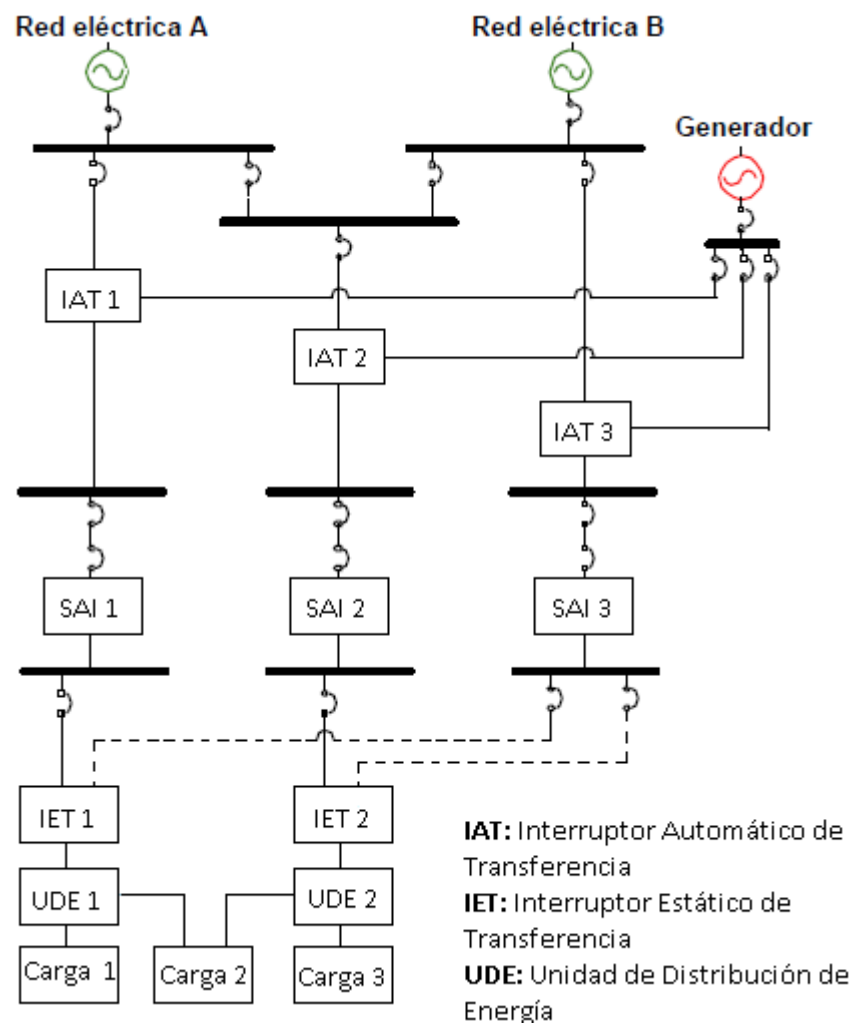
En la Figura 2.33. se puede comprobar que las cargas pueden ser alimentadas por uno o dos cables. En el primer caso, tiene un punto de fallo único que son los propios interruptores de transferencia, por lo que un fallo en este punto deja la carga conectada sin alimentación. Un fallo en alguno de estos interruptores ya que un solo interruptor está conectado a dos SAIs. Además, estos fallos pueden ser magnificados “aguas arriba” de la instalación. En el segundo caso, se tiene dos líneas de alimentación, por lo que aunque ocurra un fallo en alguno de estos componentes, la carga podrá seguir siendo alimentada [5].



**Figura 2.33.:** SAI redundante distribuido.

Hay una variante de los SAIs redundantes distribuidos llamada “sistema Catcher” (Figura 2.34.), en el que habiendo tres sistemas SAI, una no tiene acoplada carga, por lo que su salida se conecta a la carga de otro sistema SAI [5].

Este tipo de configuraciones se suelen utilizar en instalaciones grandes y complejas donde durante el mantenimiento no es aconsejable conectar las cargas a la red y donde muchas de las cargas son de cable simple [5].



**Figura 2.34.:** Sistema *Catcher*.

Este tipo de configuraciones se suelen utilizar en instalaciones grandes y complejas donde durante el mantenimiento no es aconsejable conectar las cargas a la red y donde muchas de las cargas son de cable simple [5].

En la Tabla 2.10. se muestran las ventajas y desventajas de los SAIs distribuidos[5].

**Tabla 2.10.:** Ventajas y desventajas de los SAIs distribuidos.

Ventajas	Desventajas
Redundancia de alimentación, incluso durante las maniobras de alimentación, en cargas de cable doble.	Los SAIs redundantes distribuidos son relativamente costosos por su complejidad de sincronización entre distintos componentes y la gran cantidad de elementos requeridos.
No es necesario circuitos de <i>by-pass</i> en caso de	Su funcionamiento se basa en la utilización de

---

mantenimiento, puesto que en caso de fallo de algún SAI, la carga se distribuye uniformemente entre los demás.

interruptores estáticos, que como ya se ha comentado son muy susceptibles a fallos.

Tiene un sistema de implementación complejo y muy voluminoso, por la gran cantidad de elementos necesarios.

Los sistemas de funcionamiento pueden darse lugar en el mismo momento, ya que al haber más vías de alimentación, es posible que distintos componentes estén trabajen en distintos modos de funcionamiento sin comprometer la alimentación de todas las cargas.

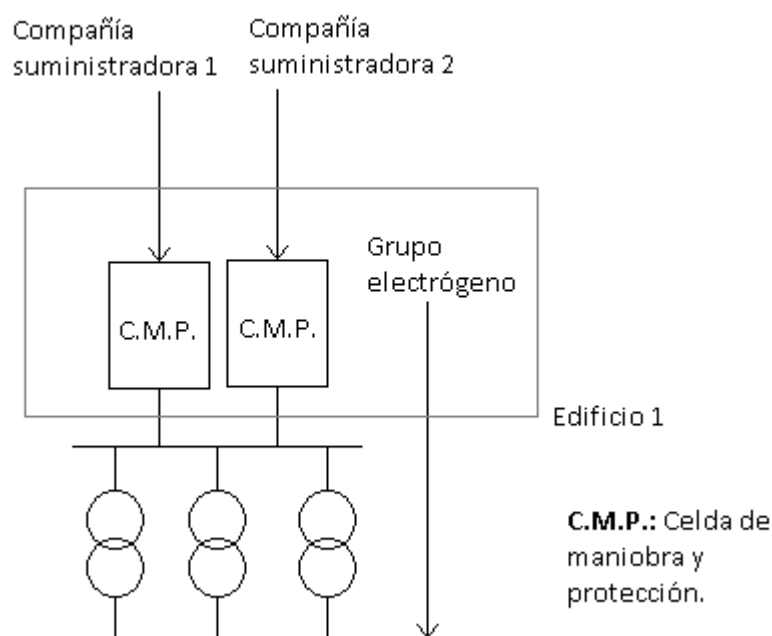
Es un sistema ineficiente, como en el caso de los SAIs en paralelo, ya que los SAIs no funcionan en torno a su régimen nominal.

---

### 3- Descripción de las instalaciones

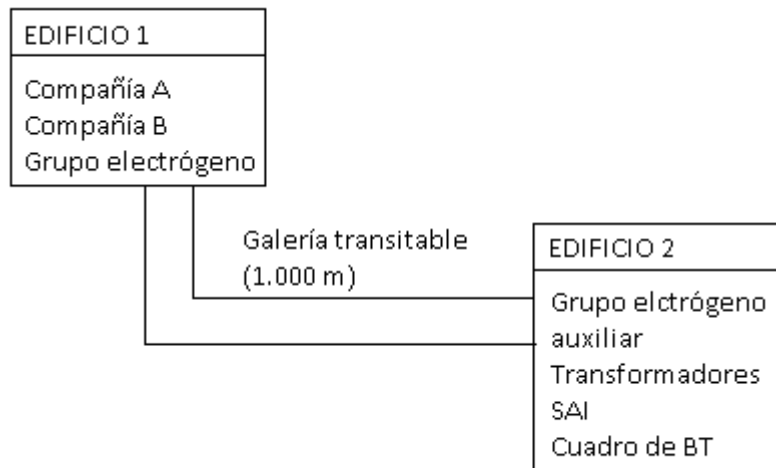
El objetivo del presente TFG es realizar la acometida de energía eléctrica de un CDP, con la premisa de que este suministro de energía sea fiable y presente una disponibilidad elevada.

Para ello, el propietario de la instalación dispone de dos acometidas eléctricas independientes, correspondientes a dos compañías suministradoras diferentes y dispondrá de un grupo electrógeno de respaldo en caso de un fallo de suministro de ambas compañías tal y como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.:** Esquema general de suministros eléctricos disponibles en el CPD.

El complejo de edificios donde se ubica el CPD está compuesto por dos edificios: un primer edificio donde se ubican las celdas de maniobra y protección en SF6 de las dos acometidas eléctricas y el grupo electrógeno y un segundo edificio donde albergar los transformadores, el SAI, conjunto de baterías y las instalaciones propias del CPD: equipos informáticos de almacenamiento de información o de cálculo. Ambos edificios están separados 1.000 metros y se conectan por una galería subterránea por donde se discurren sendas pletinas de cobre de 2x100x10mm procedentes de los embarrados de AT (15kV) del grupo electrógeno y las dos acometidas eléctricas independientes. En la Figura 3.2. se representa un esquema simplificado de disposición de edificios del CPD.



**Figura 3.2.:** Esquema edificios del CPD.

### 3.1- Instalaciones de 15 kV

El punto de acometida a la red, de dos compañías eléctricas distribuidoras, se realiza en un edificio de una sola planta, donde además se alberga un grupo electrógeno de 1.250 kVA.

#### 3.1.1- Celdas de maniobra y protección de 15 kV en SF6

En el punto de entronque de la instalación se dispondrán unas celdas de entrada. Además, cada acometida eléctrica dispondrá de unas cabinas de maniobra y protección trifásicas con aislamiento en SF6 compuestas por:

- Seccionador con puesta tierra.
- Interruptor.
- Seccionador.

Las características principales de las celdas de entrada se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.:** Características de las celda de entrada de 15 kV.

CELDA DE ENTRADA (GAM 2)	
Tensión asignada	17,5 kV
Corriente asignada	400 A
Corriente de cortocircuito	630 kA/s

Las características principales de las cabinas de maniobra y protección se muestran en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.:** Características de las celdas de maniobra y protección 15 kV en SF6.

<b>CELDA DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN (DM2)</b>	
<b>Gas de aislamiento</b>	SF6
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>	
<b>Tensión asignada</b>	17,5 kV
<b>Nivel de aislamiento</b>	
<b>Aislamiento eléctrico (50/60 Hz, 1 min)</b>	38 kV <sub>RMS</sub>
<b>Aislamiento (50/60 Hz, 1 min)</b>	45 kV <sub>RMS</sub>
<b>Aislamiento eléctrico (1,2 μs)</b>	95 kV <sub>p</sub>
<b>Aislamiento (1,2 μs)</b>	110 kV <sub>p</sub>
<b>CAPACIDAD DE CORTE</b>	
<b>Corriente asignada</b>	400 A
<b>Corriente de cortocircuito</b>	630 kA/s
<b>Corriente de cortocircuito pico</b>	630 kA
<b>Máxima capacidad de corte</b>	20 kA
<b>NORMATIVA</b>	
<b>Normas IEC</b>	62271 – Aparamenta y dispositivos de control de Alta Tensión.
	60255 – Relés eléctricos.
	61869 – Transformadores de medida.
<b>Normas UTE para 24 kV</b>	NFC 13.100 – Subestación de consume instalada dentro de un edificio y alimentada por un sistema público de distribución de segunda categoría.
	NFC 13.200 – Requisitos de instalaciones eléctricas de Alta Tensión.
	NFC 64.130 – Aparamenta de Alta Tensión para tensiones asignadas mayores de 1 kV y menores de 52 kV.
	NFC 64.160 – Seccionadores de Corriente Alterna



	e interruptores de puesta a tierra.
<b>Especificaciones EDF para 24 kV</b>	HN 64-S-41 – Aparamenta y dispositivos de control de Corriente Alterna bajo envoltente metálica para tensiones asignadas mayores de 1 kV hasta 24 kV.
	HN 64-S-43 – Mecanismos eléctricamente independientes para interruptores de 24 kV y 400 A.

### 3.1.2- Galerías transitables

El edificio donde se ubican la celdas de maniobra y protección y el grupo electrógeno se encuentra a 1.000 metros del edificio e informática donde se van a instalar los transformadores y el SAI. Para su conexión eléctrica se dispone de unas galerías transitables donde se va a optar por la utilización de pletinas dobles de Cobre 100x10 mm para cada línea de alimentación es decir, acometida compañía 1, acometida compañía 2 y grupo electrógeno.

### 3.1.3- Transformadores de potencia

Los transformadores de potencia previstos, se tratan de tres transformadores de tipo seco con encapsulado en vacío de resina epoxi. La elección de un transformador en seco es debido a que estos son más adecuados para instalaciones interiores cuyas cargas se encuentran cerca del punto de consumo. Además, los transformadores en seco son más seguros que los transformadores en aceite, al reducirse el riesgo de fugas de aceite, incendios o explosiones.

La resina, además de aislar los arrollamientos, los une entre sí, por lo que el equipo soporta los esfuerzos electromecánicos producidos durante un cortocircuito mucho mejor que los transformadores de aceite

Otra ventaja de los transformadores en seco es que necesitan un mantenimiento mucho menor para conservarse en buenas condiciones.

Los transformadores que se van a instalar en el edificio del CPD tendrán las características que se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.:** Características de los transformadores de 1.250 kVA.

<b>TRANSFORMADORES DE POTENCIA</b>	
<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS</b>	
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz
<b>Grupo de conexión</b>	Dy11

<b>Potencia</b>	1.250 kVA
<b>Tensión primaria</b>	15 kV
<b>Rango de regulación de AT</b>	7 posiciones (2,5 %)
<b>Tensión secundaria</b>	380 V (Fase-Fase) 220 V (Fase-Neutro)
<b>Máxima temperatura ambiente</b>	40°C
<b>Altitud sobre el nivel del mar</b>	≤ 1.000 metros
<b>Ensayos de rutina</b>	Incluido
<b>Ensayos de tipo</b>	Incluido
<b>Ensayos especiales</b>	Incluido
<b>CARÁCTERÍSTICAS DEL NIVEL DE AISLAMIENTO</b>	
<b>Nivel de aislamiento</b>	17,5 kV BIL (95/38 kV)
<b>Pérdidas en vacío</b>	2.800 W
<b>Pérdidas en carga a 120 °C</b>	13.000 W
<b>Tensión de cortocircuito</b>	6 %
<b>Intensidad de vacío (100% <math>V_N</math>)</b>	1 %
<b>Nivel de ruido: Potencia sonora (Lwa)</b>	75 dB
<b>Nivel de ruido: Presión sonora (Lpa)</b>	67 dB

El secundario de los transformadores se encuentra conectado a un embarrado común de aluminio al que también se conecta el grupo electrógeno.

Desde este embarrado parte el Cuadro General de Distribución, que se encuentra protegido por un interruptor automático de 2.500 A y un poder de corte de 85 kA. En el cuadro se encuentran instalados dispositivos de protección: tres transformadores de intensidad de 2.500/5 A y un equipo de medida de parámetros eléctricos (con alimentación directa de tensión y con alimentación de intensidad de corriente desde los transformadores).

A partir del embarrado general se conecta el SAI.

Del embarrado cuelgan dos tipos de cargas: cargas críticas (que requieren de una alimentación permanente, como el CPD) y cargas no críticas (que no necesitan alimentación permanente, como la ventilación, el aire acondicionado, etc). Estos dos tipos de cargas están separados por un interruptor automático de 2.000 A. En condiciones normales de funcionamiento los dos tipos de cargas están conectadas a la red; el interruptor está cerrado. No obstante, cuando hay peligro de que las cargas críticas no puedan ser alimentadas, el

interruptor se abre dejando a las cargas no críticas sin tensión, asegurando de que el CPD tenga alimentación.

## 3.2- Instalaciones de 380 V

### 3.2.1- Grupo electrógeno

La instalación objeto de este TFG dispone de un grupo electrógeno de 1.250 kVA capaz de suministrar energía eléctrica al CPD en caso de fallo de suministro eléctrico de las dos compañías eléctricas disponibles en el emplazamiento de este complejo informático. Las características principales de este grupo electrógeno se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.:** Características del grupo electrógeno de 1.250 kVA.

<b>GRUPO ELECTROGENO (KTA50 DFLC)</b>	
<b>CARATERISTICAS ELECTRICAS</b>	
<b>Tensión asignada</b>	220 / 380 V
<b>Regulación de voltaje (desde en vacío hasta con carga)</b>	±1 %
<b>Variación de la tensión</b>	±1 %
<b>Potencia</b>	1.250 kVA
<b>Factor de potencia</b>	0,8
<b>Frecuencia</b>	50 Hz
<b>Regulación de la frecuencia</b>	Isocrónico
<b>Variación de la frecuencia</b>	±0,25 %
<b>Fases</b>	Trifásico
<b>Características del alternador</b>	
<b>Diseño</b>	Sin escobillas
<b>Polos</b>	4
<b>Rotación de las fases</b>	A – B – C
<b>Aislamiento</b>	Clase H
<b>Excitación</b>	Imanes permanentes

<b>Refrigeración</b>	Ventilador centrífugo
<b>Distorsión armónica</b>	Sin carga: <1,5 % Sin distorsión de carga lineal equilibrada (<5 %)
<b>Factor de influencia de teléfono</b>	<50 %
<b>Factor de distorsión armónica de teléfono</b>	Sin carga: <1,5 % Sin distorsión de carga lineal equilibrada (<5 %)
<b>CARACTERISTICAS DEL MOTOR</b>	
<b>Combustible</b>	Diesel
<b>Diseño</b>	4 tiempos
<b>Calibre</b>	158,8 mm
<b>Carrera</b>	158,8 mm
<b>Desplazamiento</b>	50 litros
<b>Inyección del combustible</b>	Inyección directa
<b>Filtro del combustible</b>	Doble vuelta en los filtros de combustible de papel con separador de agua estándar
<b>Capacidad de la batería</b>	1.800 A a temperatura ambiente (0 °C)
<b>Recarga de la batería</b>	55 A
<b>Tensión de arranque</b>	24 V (tierra como referencia)
<b>Filtro del aire</b>	Elemento reemplazable seco
<b>Filtro del aceite lubricante</b>	Filtro de flujo completo en papel con gira y de <i>by-pass</i>
<b>Refrigeración</b>	Mantener 40 °C con radiador

### 3.2.2- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)

Las instalaciones que nos ocupan necesitan un SAI que asegure la continuidad de suministro de una buena calidad de energía, trabajando paralelamente con el grupo electrógeno, a una potencia de 400KVA.

Este equipo va a ser el encargado de proporcionarnos la potencia necesaria a 400 V. Es un sistema modular, es decir, puede aumentarse la potencia global del sistema añadiendo módulos rectificadores/inversores. El conjunto de baterías a suministrar tiene una autonomía de 10 minutos.

El SAI está compuesto por consiste en:

- Varios módulos SAIs con una potencia total mínima de 400 kVA.
- Conjunto de baterías de Plomo con una autonomía de 10 minutos.
- Sistemas rectificador/cargador de tracción que se conectan a la alimentación principal. Cada sistema rectificador/cargador está compuesto por módulos conectados en paralelo, consiguiendo la potencia total deseada. Dichos sistemas estarán equipados con filtros de entrada y “absorbedores” de picos de tensión.

Las características principales del SAI que se ha seleccionado se muestran en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5.:** Características principales del SAI.

<b>SAI (MHE 400)</b>	
<b>CARACTERISTICAS DE LA ENTRADA</b>	
<b>Potencia asignada</b>	400 kVA
<b>Tensión</b>	400 V <sub>Fase</sub> (trifásica)
<b>Variación admisible de la tensión</b>	+20 % -25 %
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz
<b>Variación admisible de la frecuencia</b>	45/65 Hz
<b>Factor de potencia</b>	0,99
<b>Corriente de entrada</b>	564 A
<b>Distorsión de corriente</b>	<3 %
<b>Arranque suave</b>	0-100 % en 10 segundos
<b>CARACTERISTIAS DEL BY-PASS</b>	
<b>Tensión asignada</b>	400 V <sub>Fase</sub> (posibilidad de 380 y 415 V)
<b>Variación admisible de la tensión</b>	±15 % (posibilidad de seleccionar de ± 40 a ±25 %)
<b>Frecuencia asignada</b>	50/60 Hz
<b>Variación admisible de la frecuencia</b>	±2 % (posibilidad de seleccionar de ± 1 a ±5 %)
<b>Corriente asignada</b>	564 A

Número de fases	3
Protección de retroalimentación	Sí
Capacidad de sobrecarga ( $I_N \times 10$ ms)	14 kA
<b>SALIDA Y SALIDA DE LOS INVERSORES</b>	
Potencia asignada	400 kVA
Potencia activa	400 W
Números de fases	3+N
Factor de cresta ( $I_{M\acute{a}x}/I_{rms}$ )	3
Forma de onda	Sinusoide
Estabilidad dinámica	$\pm 5$ % en 5 ms
Frecuencia	50/60 Hz
Distorsión de tensión con distorsión en la carga	<3 %
Distorsión de tensión con carga lineal	<1 %
Estabilidad de frecuencia	$\pm 0,05$ % en caso de fallo de red $\pm 2$ % (posibilidad de seleccionar de $\pm 1$ a $\pm 5$ %) con alimentación de red presente)
Sobrecarga	125, 150 y 200 % de la corriente asignada durante 10 minutos, 1 minuto y 7 segundos, respectivamente
<b>SALIDA DEL RECTIFICADOR</b>	
Ondulación	<1 %
<b>BATERIAS</b>	
Tipo de baterías	Pb estanco, Pb abierto o NiCd
Autonomía	15 minutos estándar
Monitor de Elementos	Detección de inversión de polaridad por monobloque
<b>BATERIAS</b>	
Tipo	Selladas de plomo sin necesidad de mantenimiento
Corriente de recarga máxima	0.2xC10

CARACTERISTICAS AMBIENTALES	
Altitud máxima	1.000 m
Color	Gris oscuro RAL 7035
Controles remotos	EPO y <i>by-pass</i>
Cumplimiento de la seguridad	EN 62040-1
Conformidad con EMC	EN 62040-2 Directivas 73/23-93/68-89/336 EEC EN 62040-3
Grado de protección	3
Línea interactiva/eficiencia activa inteligente	Hasta 99,4 %
Ruido	70 dBA a 1 m
Señales remotas	Contactores libres de tensión (fallo de red, SAI en <i>b-pass</i> , pre-alarma de fin de descarga, salida de 12 V <sub>DC</sub> , 80 mA)
Temperatura de operación	0-40 °C
Humedad relativa	95 % sin condensación

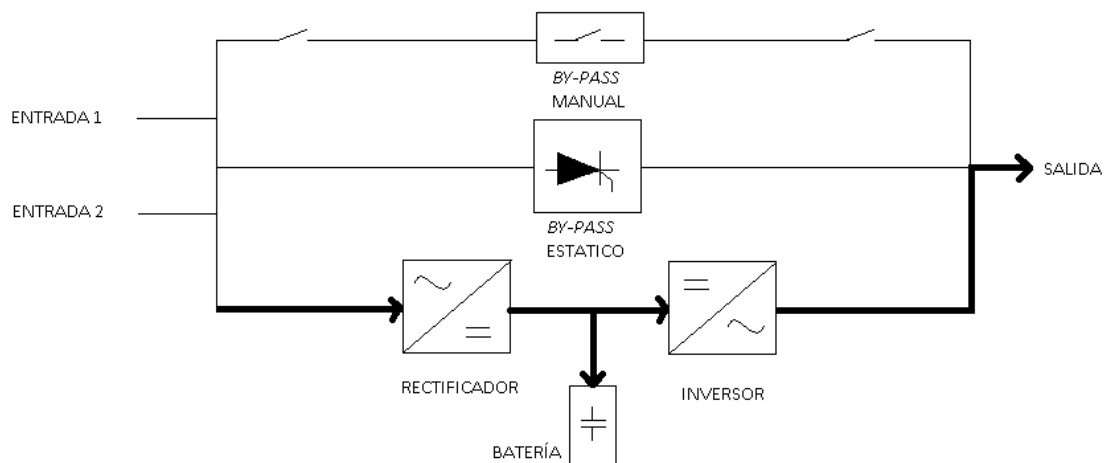
El SAI que se va a utilizar tiene tres modos de funcionamiento a fin de asegurar la carga al CPD ante cualquier eventualidad: modo normal, modo batería y modo *by-pass*.

En caso de que algún modo deba funcionar, pero que le sea imposible por cualquier fallo o avería del SAI, se deja la carga sin alimentación.

#### 3.2.2.1- Modo normal

En modo normal de funcionamiento, el SAI debe operar de forma que, simultáneamente, cargue la batería y alimente la carga, como se muestra en la Figura 3.3. En este modo de funcionamiento, tanto el rectificador como el inversor están operativos.

Los parámetros de salida del SAI deben estar entre los límites admisibles de tolerancia del CPD.



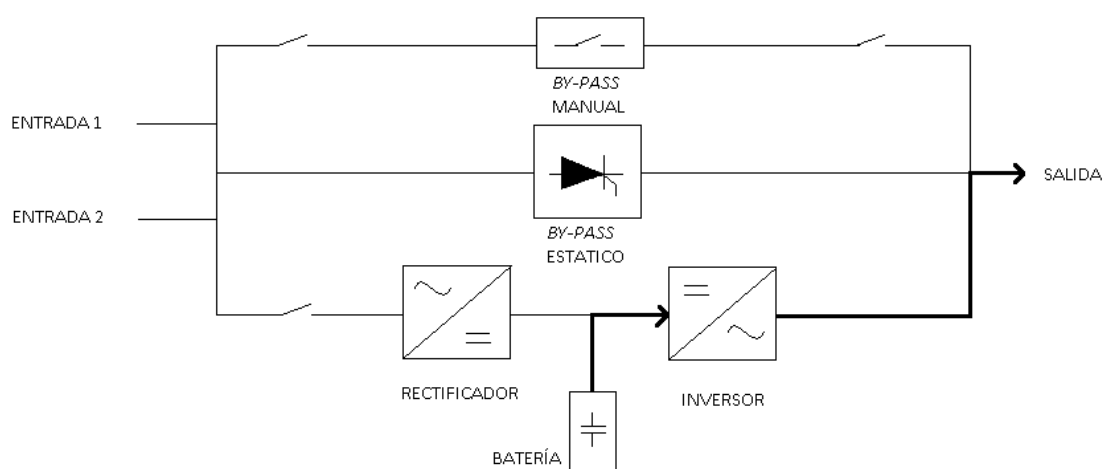
**Figura 3.3.:** Modo normal de funcionamiento del SAI.

### 3.2.2.2- Modo batería

Debido a que el CPD requiere una alimentación ininterrumpida, el SAI debe ser capaz de aportar la energía necesaria para el correcto funcionamiento del CPD. Este aporte de energía se realiza a través de la batería del SAI, tal y como se indica en la Figura 3.4.

Por otra parte y por la misma razón que la de antes, la comunicación entre el inversor y la batería debe ser la adecuada, por lo que la conmutación se lleva a cabo en el momento correcto.

Sólo se utiliza la batería cuando el inversor no esté operativo o que haya alguna falta en la línea de alimentación.



**Figura 3.4.:** Modo batería de funcionamiento del SAI.



### 3.2.2.3-Modo *by-pass* estático

El SAI utilizado tiene aún más redundancias en la alimentación debido a la criticidad de la carga. Este camino se realiza a través del *by-pass* estático, como se indica en la figura 3.5.

Este modo de funcionamiento es muy poco utilizado, ya que las características de la onda de alimentación es la de la red, que no puede tener las características adecuadas para las cargas. No obstante, se utiliza en el arranque del SAI y durante sobrecargas prolongadas, que pueden estropear los dispositivos electrónicos.

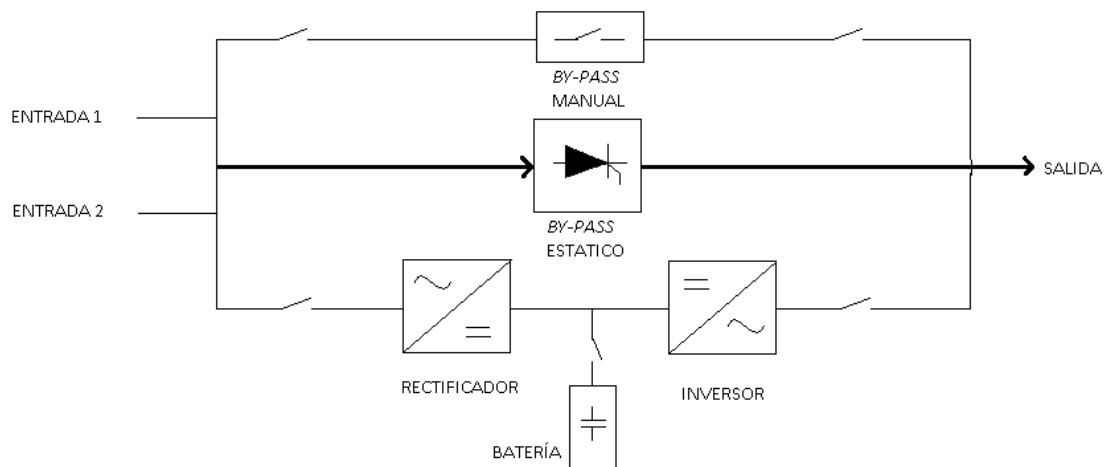
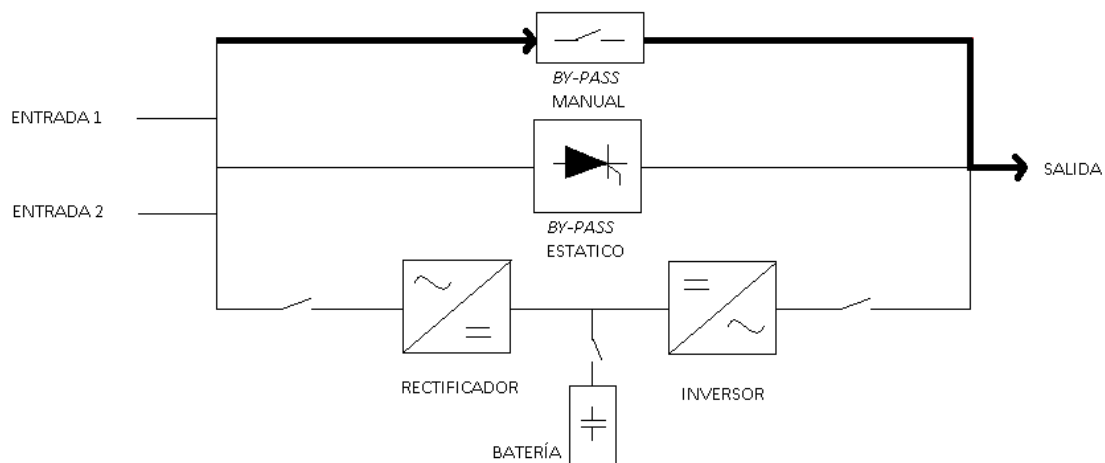


Figura 3.5.: Modo *by-pass* estático de funcionamiento del SAI.

### 3.2.2.4-Modo *by-pass* manual

El modo *by-pass* manual solo es utilizado durante las maniobras de reparación de los demás elementos (rectificador, inversor, batería o, incluso, el *by-pass* estático). El esquema utilizado es la Figura 3.6.

Además, las mismas características del *by-pass* estático, como el malfuncionamiento de la carga.



**Figura 3.6.:** Modo *by-pass* manual de funcionamiento del SAI.

### 3.2.2.5- Monitorización del SAI

Los SAIs dispondrán de una pantalla con teclado con el que se permite conocer de forma sencilla la inmensa mayoría de los parámetros internos del SAI al mismo tiempo que ayuda en las labores de diagnóstico, conservando en un histórico los últimos 256 eventos de cada etapa (rectificador, inversor y *by-pass*) más importantes.

A través del teclado, *pantalla* y menús (algunos de ellos restringidos con clave de acceso) se pueden ajustar ciertos parámetros del SAI, como los niveles de carga de batería, reloj horario, etc. También se puede actuar sobre el modo de funcionamiento del SAI, es decir, apagar/encender el inversor, iniciar la carga rápida manual, etc.

### 3.2.2.6- Comunicaciones

Cada sistema que compone el SAI podrá ser integrado fácilmente en sistemas de gestión estándares mediante sus apropiados interfaces, contactos libres de potencial, MODBUS/JBUS, PROFIBUS, RS232, RS485, módem, SNMP, etc.

### 3.2.2.7- Conjunto de baterías

La batería gestionada por el SAI será de plomo estanco, posicionado horizontal, en una rama, bloques de un elemento (2V) y tendrán una vida superior a 12 años. Ésta se alojará en *rack* independiente y estará protegida mediante un seccionador a fusibles con contacto de señalización y adecuado a su corriente y poder de cortocircuito.

Cuando la tensión de batería cae por debajo de un nivel ajustable, el SAI desconecta la batería con el fin de protegerla contra descargas profundas.

Con el fin de alargar la vida de la batería, la tensión de flotación y carga rápida será compensada en función de la temperatura.

Con el fin de detectar de forma prematura la indisponibilidad de la batería, cada SAI llevará implementado las siguientes protecciones:

- Monitorización del circuito de carga para la detección del fallo de los fusibles de batería, fallo de un elemento de batería y fallo de un conector de batería.
- Test de disponibilidad de batería: Chequea automáticamente y semanalmente si el circuito de batería está abierto y la disponibilidad de ésta.
- Test de capacidad de batería: Regula para que la corriente que se extrae de la batería durante el test sea constante. Se trata de un test manual para realizarse durante las labores de mantenimiento con una carga de mantenimiento.
- Test de capacidad de batería: Regula para que la corriente que se extrae de la batería durante el test sea constante. Se trata de un test manual para que pueda realizarse con la carga conectada (siempre que la carga sea lo suficientemente grande).

La ITC-BT-30 del Reglamento Electrotécnico de BT, indica que los locales en que deben disponerse baterías de acumuladores, se consideraran como emplazamientos con riesgos de corrosión debiendo cumplir lo siguiente [18]:

- El equipo eléctrico utilizado estará protegido contra los efectos de vapores y gases desprendidos por electrolito.
- Los locales deben estar provistos por una ventilación natural o forzada que garantice una renovación perfecta y rápida del aire. Los vapores evacuados no deben penetrar en locales contiguos.
- La iluminación artificial se realizará únicamente mediante lámparas eléctricas de incandescencia o de descarga.
- Las luminarias serán del material apropiado para soportar el ambiente corrosivo y evitar la penetración de gases en su interior.
- Los acumuladores que no aseguren por sí mismos y permanentemente un aislamiento suficiente entre partes en tensión y tierra, deberán ser instalados con un aislamiento suplementario.
- Los acumuladores estarán dispuestos de manera que pueda realizarse fácilmente la sustitución y el mantenimiento de cada elemento. Los pasillos de servicio tendrán una anchura mínima de 0,75 metros.
- Si la tensión de servicio en corriente continua es superior a 75 V con relación a tierra y existen partes desnudas bajo tensión que puedan tocarse inadvertidamente, el suelo de los pasillos de servicio será eléctricamente aislante.
- Las piezas desnudas bajo tensión, cuando entre estas existan tensiones superiores a 75 voltios en corriente continua, deberán instalarse de manera que sea imposible tocarlas simultánea e inadvertidamente.

### 3.2.3- Grupo electrógeno auxiliar móvil

Además del grupo electrógeno, también hay un grupo auxiliar móvil de 400 kVA en el edificio del CPD. Se instala este generador cuando las dos compañías suministradoras y el grupo electrógeno principal fallan en la alimentación. Las características principales de este grupo electrógeno se muestran en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6.:** Características de grupo electrógeno auxiliar móvil de 400 kVA.

GRUPO ELECTROGENO AUXILIAR (C400 D5e)	
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Conexión	Y-Δ
Potencia nominal	400 kVA
Factor de Potencia	0,8
Tensión nominal	380 V
Regulación de voltaje (de <i>en vacío a a plena carga</i> )	±1 %
Variación de voltaje aleatoria	±1 %
Frecuencia	50 Hz
Regulación de frecuencia	Isocrónica
Variación de frecuencia aleatoria	±0,25 %
CARACTERISTICAS MECANICAS	
Número de ciclos	4
Calibre	137
Desplazamiento	169
Capacidad	15 l
Bloque cilíndrico	Molde de hierro con 6 cilindros
Capacidad de la batería	100 A·h
Intensidad de la batería	35 A
Voltaje de arranque	24 V
Sistema de combustible	Inyección directa

<b>Tipo de filtros de combustible</b>	Filtros de giro con separadores de agua
<b>Tipo de filtro de aire</b>	Elemento reemplazable seco con indicador de restricciones
<b>Tipo de filtro de aceite lubricante</b>	Filtros de giro de flujo completo
<b>Sistema de refrigeración estándar</b>	Radiador al aire libre (50°C)
<b>CARACTERISTICAS DEL ALTERNADOR</b>	
<b>Diseño</b>	Sin escobillas, de rodamiento individual, de campo giratorio
<b>Rotor</b>	De rodamiento individual, de disco flexible
<b>Clase de aislamiento</b>	H
<b>Aumento de la temperatura estándar</b>	125-163 °C
<b>Sistema de excitación</b>	Autoexcitación
<b>Rotación de las fases</b>	Horaria
<b>Sistema de refrigeración del alternador</b>	Ventilador centrífugo directo
<b>Distorsión armónica total (THDV)</b>	Sin carga < 1.5 % Sin distorsión equilibrada de carga lineal < 5 %
<b>Factor de influencia telefónica (TIF)</b>	< 50 %
<b>Factor de influencia armónica (THF)</b>	< 2 %
<b>NORMATIVA</b>	
<b>Clase de regulación del generador</b>	ISO 8528 G3
<b>Emisión de ondas de radio</b>	BS EN 61000-6-2:2005 BS EN 61000-6-3:2007

### 3.2.2- Cuadro de BT

A la salida del SAI se conectan los consumos del CPD utilizando fuentes de alimentación redundantes en cada equipo para aumentar la fiabilidad del suministro eléctrico de cada uno de los consumos.

## 4- Cálculos eléctricos justificativos

En el presente capítulo se procederá a calcular las intensidades nominales y de cortocircuito presentes en la instalación objeto de diseño y posteriormente se procederá a dimensionar el conjunto de cables y embarrados.

### 4.1- Cálculo de intensidades nominales

La instalación cuenta con tres transformadores de 1.250 kVA en paralelo alimentados por una de las dos acometidas independientes presentes en la ubicación del complejo informático.

En caso de fallo del transformador que este en servicio, existe la posibilidad de utilizar cualquiera de los dos transformadores restantes.

Para asegurarse el correcto estado de funcionamiento de los transformadores, se incluye dentro de las labores de mantenimiento, la alternancia de alimentación de cada transformador de potencia.

#### 4.1.1- Intensidad de media tensión

La intensidad en el primario de un transformador trifásico viene definida por la siguiente expresión:

$$I_{N,P} = \frac{S_{N,Trafo}}{\sqrt{3} \cdot U_{N,P}} \quad [4.1.]$$

siendo:

$I_{N,P}$	Intensidad nominal en el primario del transformador. [A]
$S_{N,Trafo}$	Potencia aparente del transformador. [VA]
$U_{N,P}$	Tensión nominal en el primario del transformador. [V]

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para el cálculo de la ecuación [4.1.].

**Tabla 4.1.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad nominal de media tensión.

Parámetro	Unidades	Valor
$S_{N,Trafo}$	kVA	1.250
$U_{N,P}$	kV	15

Por lo tanto, y según los datos anteriores, la intensidad en el primario es igual a 48,11 A.

#### 4.1.2- Intensidad de baja tensión

La intensidad en el secundario de un transformador trifásico viene definida por la siguiente expresión:

$$I_{N,S} = \frac{S_{N,Trafo}}{\sqrt{3} \cdot U_{N,S}} \quad [4.2.]$$

siendo:

$I_{N,S}$	Intensidad nominal en el secundario del transformador. [A]
$S_{N,Trafo}$	Potencia aparente del transformador. [VA]
$U_{N,S}$	Tensión nominal en el secundario del transformador. [V]

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para el cálculo de la ecuación [4.2.].

**Tabla 4.2.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad nominal de baja tensión.

Parámetro	Unidades	Valor
$S_{N,Trafo}$	kVA	1.250
$U_{N,S}$	V	380

Por lo tanto, y según los datos anteriores, la intensidad en el primario es igual a 1.899,18 A.

#### 4.2- Cálculo de corrientes de cortocircuito

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito, se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de las dos celdas de AT, valor especificado por las dos compañías eléctricas.

**Tabla 4.3.:** Potencias de cortocircuito de las compañías eléctricas suministradoras.

Compañía	Potencia de Cortocircuito	Tiempo de despeje
Gas Natural Fenosa	600 MVA	0,5 seg
Iberdrola	420 MVA	0,5 seg

#### 4.2.1- Intensidad de cortocircuito en la acometida

Para calcular la corriente de cortocircuito en el punto de acometida (es decir, primario de los transformadores), se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{CC,P} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot U_{N,P}} \quad [4.3.]$$

siendo:

$I_{CC,P}$	Corriente de cortocircuito en el punto de acometida. [A]
$S_{CC}$	Potencia de cortocircuito del punto de entronque. [VA]
$U_{N,P}$	Tensión nominal en el primario del transformador. [V]

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para el cálculo de la ecuación [4.3.].

**Tabla 4.4.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en la acometida.

Parámetro	Unidades	Valor
$S_{CC}$	MVA	600
$U_{N,P}$	kV	15

Por lo tanto, y según los datos anteriores, la intensidad en el primario es igual a 23,1 kA.

Se ha elegido la potencia de cortocircuito más desfavorable (600 MVA), indicada en la Tabla 4.3.

#### 4.2.2- Intensidad de cortocircuito en el secundario de los transformadores

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito secundario de los transformadores, se van a considerar las potencias de cortocircuito de los transformadores, siendo por ello más conservadores que en las consideraciones reales.

Por lo tanto, la corriente de cortocircuito en el secundario de un transformador trifásico viene determinada por la expresión:

$$I_{CC,S} = \frac{S_{N,Trafo}}{\sqrt{3} \cdot U_{CC} \cdot U_{N,S}} \quad [4.4.]$$

siendo:

$I_{CC,S}$	Corriente de cortocircuito en el secundario del transformador. [A]
------------	--



$S_{N,Trafo}$	Potencia nominal del transformador. [VA]
$U_{CC}$	Tensión de cortocircuito del transformador. [p.u.]
$U_{N,S}$	Tensión nominal en el secundario del transformador. [V]

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para el cálculo de la ecuación [4.4.].

**Tabla 4.5.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en el secundario del transformador.

Parámetro	Unidades	Valor
$S_{N,Trafo}$	kVA	1.250
$U_{CC}$	p.u.	0,1
$U_{N,S}$	kV	0,380

Por lo tanto, y según los datos anteriores, la intensidad en el primario es igual a 18,99 kA.

Por otro lado, existe un grupo electrógeno cuyas bornas secundarias están conectadas en el embarrado de 380V y podría aportar corriente a la falta en el caso de existir un suministro degradado. En cuyo caso, la corriente de cortocircuito viene expresada de la siguiente forma:

$$I_{CC,S} = \frac{S_{N,GE}}{\sqrt{3} \cdot U_{N,GE}} \quad [4.5.]$$

siendo:

$I_{CC,S}$	Intensidad aportada por el grupo electrógeno. [A]
$S_{N,GE}$	Potencia nominal del grupo electrógeno. [VA]
$U_{N,GE}$	Tensión nominal del grupo electrógeno. [V]

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para el cálculo de la ecuación [4.5.].

**Tabla 4.6.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en bornas del grupo electrógeno.

Parámetro	Unidades	Valor
$S_{N,GE}$	kVA	1.250
$U_{N,GE}$	V	380

Por lo tanto, y según los datos anteriores, la intensidad en el primario es igual a 1,899 kA.

En la Tabla 4.7. se muestran las dos corrientes de cortocircuito anteriores.

**Tabla 4.7.:** Intensidades de cortocircuito en el embarrado de 380V.

Caso	Intensidad de Cortocircuito [kA]
Compañía Eléctrica Suministradora	18,99
Grupo Electrógeno	1,899

Ante las dos intensidades de cortocircuito secundarias anteriores se debe escoger la más restrictiva, es decir 18,99 kA.

### 4.3- Elección de la sección del conductor

El sistema eléctrico considerado es trifásico. Se disponen de cables multiconductores dispuestos sobre bandeja perforada con una distancia mínima de la pared a un 30% del diámetro del cable. Cada cable está aislado por PVC. Además, cada fase tendrá 9 cables por fase. Con estos datos de partida se puede seleccionar la sección de conductor a fin de cumplir con la ITC-BT 19 con respecto a la capacidad amperimétrica como para la caída de tensión [18].

#### 4.3.1- Máximas corrientes de los cables desde el grupo electrógeno hasta la barra permanente

Para el cálculo de las corrientes máximas por los cables desde el grupo electrógeno hasta la barra permanente, se dividirá este trozo de la instalación en dos partes: los cables que conectan el grupo electrógeno al embarrado de BT, y aquéllos que conectan el embarrado de BT a la barra permanente.

##### 4.3.1.1- Cables desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT

Desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT tienden unos cables de BT de 1.000 metros de longitud.

$$I_{Máx} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad [4.6.]$$

siendo:

$I_{Máx}$	Corriente máxima de carga. [A]
$S$	Potencia nominal del generador. [VA]
$U_N$	Tensión nominal de la red de BT. [V]

En la Tabla 4.8. se muestran los parámetros para el cálculo de la ecuación [4.6.].

**Tabla 4.8.:** Parámetros para la corriente máxima de los cables desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT.

Variable	Unidad	Valor numérico
S	kVA	138,89
$U_N$	V	380

Por lo tanto, la corriente debe ser de 211,02 A. La ITC-BT 19 indica que la sección de cada conductor ha de ser de 300 mm<sup>2</sup> [18].

#### 4.3.4- Cables de BT desde el embarrado de BT hasta la barra permanente

Desde el embarrado de BT hasta la barra permanente tienden unos cables de BT de 100 metros de longitud.

$$I_{Máx} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad [4.7.]$$

siendo:

$I_{Máx}$	Corriente máxima de carga. [A]
S	Potencia nominal del generador. [VA]
$U_N$	Tensión nominal de la red de BT. [V]

Se consideran los siguientes datos:

**Tabla 4.9.:** Parámetros para la corriente máxima de los cables dimensionar los cables de BT desde el embarrado de BT hasta la barra permanente.

Variable	Unidad	Valor numérico
S	kVA	138,89
$U_N$	V	380

Por lo tanto, la corriente debe ser de 211,02 A. La ITC-BT 19 indica que la sección de cada conductor ha de ser de 300 mm<sup>2</sup> [18].

#### 4.3.2- Caídas de tensión

Habrà que estudiar las caídas de tensión en dos tramos: entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT, y entre el embarrado de BT y la barra permanente.

#### 4.3.1- Caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT

Para calcular la caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT se utilizará la siguiente fórmula:

$$u = \frac{L \cdot P}{C_{Cu} \cdot S \cdot U_N} \quad [4.8.]$$

siendo:

u	Caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT. [V]
L	Distancia entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT. [m]
P	Potencia que se transmite desde el grupo electrógeno hasta el embarrado de BT. [W]
C <sub>Cu</sub>	Conductividad del cobre. [m/Ω·mm <sup>2</sup> ]
S	Sección del conductor elegido. [mm <sup>2</sup> ]
U <sub>N</sub>	Tensión nominal del grupo electrógeno. [V]

En la Tabla 4.10. se muestran los parámetros para el cálculo de la ecuación [4.8.].

**Tabla 4.10.:** Parámetros para la caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT.

Variable	Unidad	Valor numérico
L	m	1.000
P	kW	111,11
C <sub>Cu</sub>	m/Ω·mm <sup>2</sup>	56
S	mm <sup>2</sup>	300
U <sub>N</sub>	V	380

Por lo tanto, la caída de tensión es de 17,4 V. La ITC-BT 19 sólo permite una caída máxima de un 5% de la tensión nominal de la línea, es decir 19 V de caída de tensión, por lo que esta caída de tensión es admisible para nuestro sistema [18].

#### 4.3.2- Caída de tensión entre el embarrado de BT y la barra permanente

Para calcular la caída de tensión entre el grupo electrógeno y el embarrado de BT se utilizará la siguiente fórmula:

$$u = \frac{L \cdot P}{C_{Cu} \cdot S \cdot U_N} \quad [4.9.]$$

siendo:

u	Caída de tensión entre el embarrado de BT y la barra permanente. [V]
L	Distancia entre el embarrado de BT y la barra permanente. [m]
P	Potencia que se transmite desde el embarrado de BT hasta la barra permanente. [W]
$C_{Cu}$	Conductividad del cobre. [ $m/\Omega \cdot mm^2$ ]
S	Sección del conductor elegido. [ $mm^2$ ]
$U_N$	Tensión nominal del grupo electrógeno o del secundario del transformador. [V]

En la Tabla 4.11. se muestran los parámetros para el cálculo de la ecuación [4.9].

**Tabla 4.11.:** Parámetros para la caída de tensión entre el embarrado de BT y la barra permanente.

Variable	Unidad	Valor numérico
L	m	1.000
P	kW	111,11
$C_{Cu}$	$m/\Omega \cdot mm^2$	56
S	$mm^2$	300
$U_N$	V	380

Por lo tanto, la caída de tensión es de 1,74 V. La ITC-BT 19 sólo permite una caída máxima de un 5% de la tensión nominal de la línea, es decir 19 V de caída de tensión, por lo que esta caída de tensión es admisible para nuestro sistema [18].

#### 4.4- Dimensionamiento de embarrados

Para dimensionar la sección de los conductores, es necesario tener en cuenta previamente tanto las solicitaciones térmicas como las electrodinámicas de la instalación. De esta forma, se verifica que la tensión nominal y en condiciones de falta no caliente excesivamente los conductores y que éstos soporten adecuadamente los esfuerzos electrodinámicos durante un cortocircuito.

Merece la pena añadir que aunque se utilice 9 cables por fase, se simplificarán los cálculos considerando que cada fase tiene solamente un conductor.

#### 4.4.1- Embarrados de media tensión

Las celdas han sido sometidas a ensayos oficiales para certificar los valores indicados en las placas de características, por lo que no es necesario realizar cálculos técnicos ni hipótesis de comportamiento de celdas.

#### 4.4.2- Dimensionamiento de la pletina (Cu 2x100x10mm)

Desde el edificio o caseta hasta el edificio de informática, se construyen unas galerías transitables donde se emplearan 2 pletinas 100x10 mm<sup>2</sup> para la conexión entre las celdas de maniobra y protección y el embarrado primario de los transformadores de potencia.

##### 4.4.2.1- Solicitaciones térmicas

El análisis de las solicitaciones térmicas de la instalación verifica que el conductor será capaz de soportar el calentamiento producido. Se van a estudiar dos estadios, el de servicio permanente y el de cortocircuito.

##### 4.4.2.1.1- Condiciones de servicio permanente

En servicio permanente, los conductores han de poder soportar el calentamiento a niveles de carga nominales.

Este caso consiste en calcular el tiempo en que la pletina tarda en alcanzar una temperatura de 90 °C por sobrecarga. Se va a suponer que la temperatura de la pletina está inicialmente a la temperatura del entorno.

Este tiempo viene determinado por la siguiente expresión [20]:

$$t = \tau \cdot \ln \left( \frac{I_{M\acute{a}x}^2 - \alpha \cdot 0}{I_{M\acute{a}x}^2 - \alpha \cdot \Delta T} \right) \quad [4.10.]$$

siendo

t	Tiempo en el que la pletina tarda en alcanzar 90°C en condiciones de sobrecarga. [s]
$\tau$	Coeficiente de tiempo de la pletina. [s]
$I_{m\acute{a}x}$	Intensidad máxima permanente para la cual la pletina no supera los 90°C a una determinada temperatura ambiente. [A]
$\alpha$	Coeficiente térmico de la pletina. [W/(°C·Ω)]
$\Delta T$	Diferencia térmica entre la pletina y el aire del entorno al final. [°C]

donde la constante de tiempo ( $\tau$ ), la constante de temperatura ( $\alpha$ ) y el incremento de temperatura ( $\Delta T$ ) vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$\tau = \frac{m \cdot C_e}{a \cdot S} \quad [4.11.]$$

$$\alpha = \frac{a \cdot S}{R} \quad [4.12.]$$

$$\Delta T = T_{f,pletina} - T_{ambiente} = 90^{\circ}\text{C} - T_{ambiente} \quad [4.13.]$$

siendo:

m	Masa de la pletina. [kg/m]
C <sub>e</sub>	Calor específico de la pletina. [J/(kg·°C)]
a	Coefficiente de transmisión del calor. [W/(m·°C)]
S	Superficie por metro de pletina. [mm <sup>2</sup> ]
R	Resistencia óhmica relativa de la pletina. [Ω/km]
T <sub>f,pletina</sub>	Temperatura final de la pletina. [°C]
T <sub>ambiente</sub>	Temperatura ambiental de la zona de estudio. [°C]

En la instalación objeto de este TFG, cada pletina tiene:

**Tabla 4.12.:** Parámetros para el tiempo en el que la pletina tarda en alcanzar 90°C en condiciones normales.

Parámetro	Unidad	Valor
<b>m</b>	kg/m	17,908
C <sub>e</sub>	J/(kg·°C)	383,1
<b>a</b>	W/(m·°C)	5,2
<b>S</b>	m <sup>2</sup>	0,44
<b>R</b>	Ω/km	0,0088
<b>T<sub>f,pletina</sub></b>	°C	90

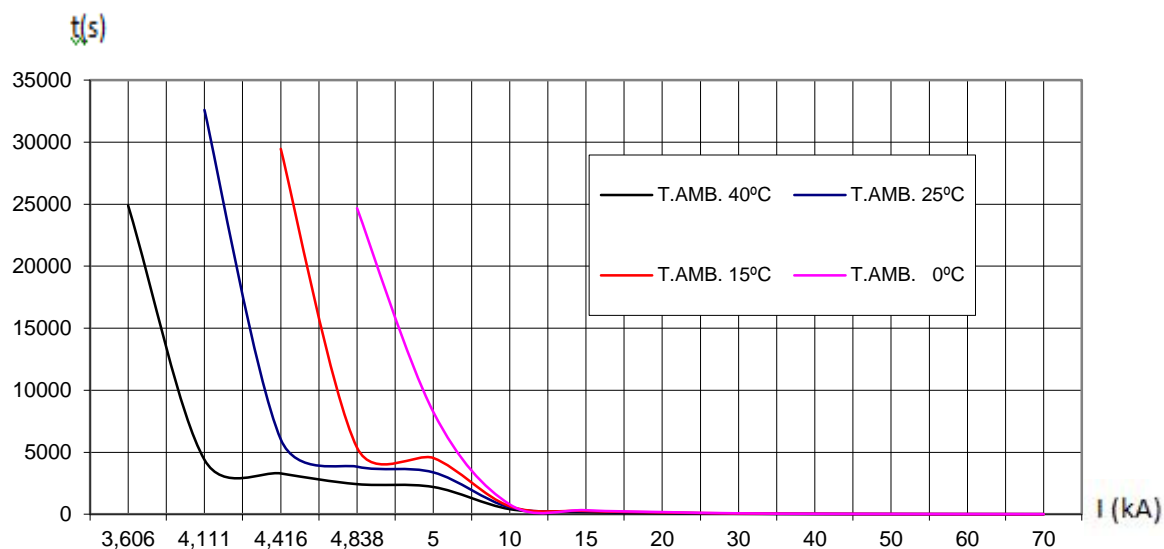
Se estudiarán tres casos correspondientes a tres temperaturas ambientales: 0, 15, 25 y 40°C. Gracias a la ecuación [4.10.] se puede obtener los tiempos y las corrientes para los que la pletina alcanza los 90°C a estas temperaturas ambientales, que se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.13.:** Tiempo que tarda la pletina de cobre de 2x(100x10) mm en alcanzar la temperatura máxima de trabajo de 90°C partiendo de la temperatura ambiente.

$I_{M\acute{a}x}$ (A)	Tiempo (seg) que tarda la pletina en alcanzar 90°C a las siguientes temperaturas ambiente			
	$T_{Amb}=40^{\circ}C$	$T_{Amb}=25^{\circ}C$	$T_{Amb}=15^{\circ}C$	$T_{Amb}=0^{\circ}C$
<b>3.606</b>	<b>24.883,351</b>			
<b>4.111</b>	4.396,613	<b>32.597,836</b>		
<b>4.416</b>	3.293,858	6.040,620	<b>29.456,415</b>	
<b>4.838</b>	2.430,570	3.838,794	5.368,584	<b>24.675,020</b>

La primera columna corresponde a las corrientes máximas permanentes en el conductor para las que la pletina no supera los 90°C. También se debe mencionar que los tiempos correspondientes a la diagonal son los tiempos mínimos a los que la pletina alcanza los 90°C para la temperatura ambiente indicada en la Tabla 4.9.

En la Tabla 4.9. puede verse gráficamente en la Figura 4.1.:



**Figura 4.1.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 90°C a diferentes temperaturas ambiente.

Como se puede ver en la Figura 4.1. la situación más desfavorable se produce a los 40°C. A esta temperatura se soportaría, como máximo, 3.606 A durante algo menos de 25.000 segundos. Ahora bien, en nuestro caso la pletina debe soportar una corriente de 48,11 A en régimen permanente. Por lo tanto, al ser esta corriente mucho menor a la máxima de 3.606 A, la pletina soporta 48,11 A en régimen permanente.



#### 4.3.2.1.2-Condiciones de cortocircuito

En condiciones de cortocircuito también se producen efectos térmicos sobre los conductores. La temperatura que se alcanza en este caso depende tanto del valor de la intensidad de cortocircuito como del tiempo que dura el mismo.

En este caso, se debe estudiar el tiempo en que la pletina alcanza los 200°C de temperatura en condiciones de cortocircuito, tal como se indica el MIE-RAT 13 [21]. A diferencia de la situación anterior, la temperatura ambiente es de 40°C.

Este tiempo sigue la siguiente fórmula [20]:

$$t = \frac{K_{CC}^2 \cdot A^2}{I_{CC}^2} \quad [4.14.]$$

siendo:

t	Tiempo en que la pletina alcanza los 200°C de temperatura en condiciones de cortocircuito. [s]
K <sub>CC</sub>	Coeficiente de cortocircuito. [s·A <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> ]
A	Sección total de la pletina. [mm <sup>2</sup> ]
I <sub>CC</sub>	Corriente de cortocircuito. [A]

**Tabla 4.14.:** Parámetros para el tiempo en que la pletina alcanza los 200°C de temperatura en condiciones de cortocircuito.

Parámetro	Unidad	Valor
K <sub>CC</sub>	s·A <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>	0,1418
A	mm <sup>2</sup>	1.000

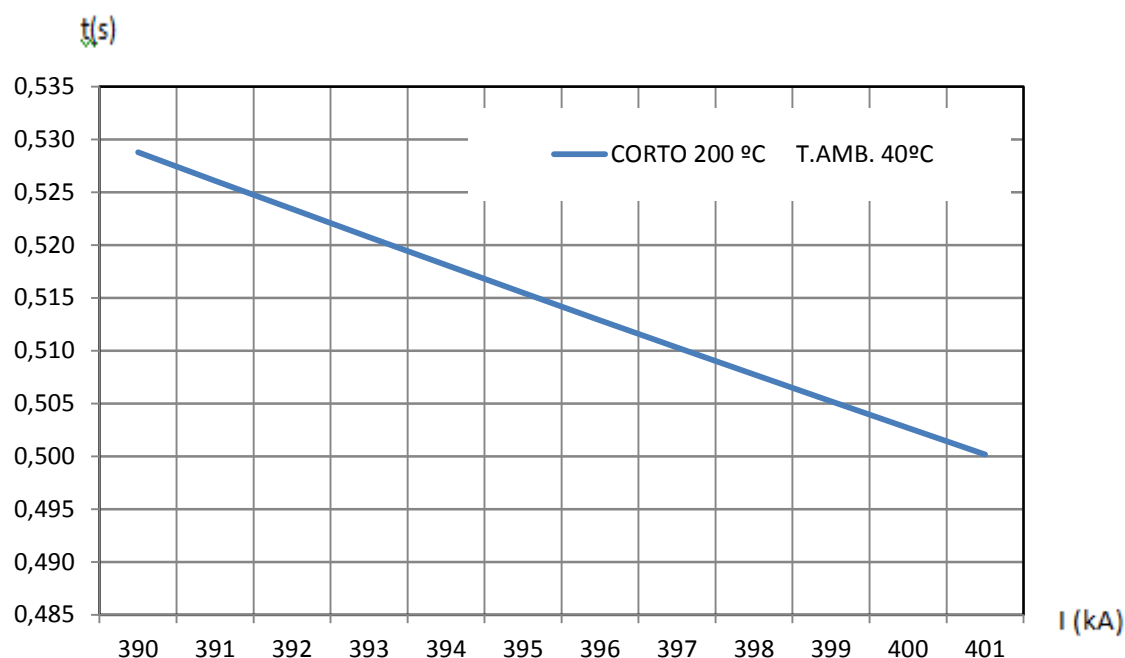
Con los valores anteriores, la siguiente tabla muestra los valores de corriente de cortocircuito:

**Tabla 4.15.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 200°C en condiciones de cortocircuito a 40°C de temperatura ambiente.

I <sub>CC</sub> (kA)	Tiempo (seg) que tarda la pletina en alcanzar 200°C en condiciones de cortocircuito a 40°C de temperatura ambiente.
390	0,529
391	0,526
392	0,523
393	0,521

394	0,518
395	0,515
396	0,513
397	0,510
398	0,508
399	0,505
400	0,503
401	0,500

Ahora se mostrara la gráfica correspondiente a la ecuación [4.10.]:



**Figura 4.2.:** Tiempo que tarda la pletina en alcanzar 200°C en condiciones de cortocircuito a 40°C de temperatura ambiente.

Según muestra esta gráfica, a partir de 401 kA la pletina no soportaría el aumento de temperatura durante los 0,5 segundos en los que debería actuar las protecciones. No obstante, en el caso de estudio (23,1 kA de corriente de cortocircuito), el efecto térmico es soportado holgadamente por la pletina durante esos 0,5 segundos.

#### 4.4.2.2- Solicitaciones electrodinámicas

Este apartado tiene como objeto saber si los conductores serían capaces de soportar las sollicitaciones electrodinámicas durante cortocircuitos.

Para estudiar las solicitaciones electrodinámicas se debe comprobar que la fuerza de rotura de los aisladores (R) sea mayor que los esfuerzos sobre el aislador (Q), a fin de verificar que el conductor podrá soportar las fuerzas electrodinámicas provocadas por corrientes de cortocircuito.

#### 4.4.2.2.1-Fuerzas entre conductores paralelos

Antes de conocer la fuerza sobre los aisladores, es necesario calcular las fuerzas electrodinámicas ejercidas mutuamente entre dos conductores paralelos entre sí. Se va a considerar una falta trifásica, ya que sus efectos son los más graves en comparación a los demás fallos posibles de los conductores. Cada fuerza viene determinada por la siguiente expresión:

$$f = \frac{\mu_0 \cdot I_{CC,3\phi}^2}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot g} \quad [4.15.]$$

siendo:

f	Fuerza por unidad de longitud electrodinámica ejercida por un conductor sobre otro paralelo a éste. [kg/m]
$\mu_0$	Permeabilidad magnética del vacío. [N/A <sup>2</sup> ]
	$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$
$I_{CC,3\phi}$	Corriente de falta trifásica que recorre cada conductor. [A]
d	Distancia entre los conductores. [m]
g	Aceleración de la gravedad. [m/s <sup>2</sup> ]

La mayor corriente de cortocircuito es la que produce mayores esfuerzos electrodinámicos. Esta corriente es la corriente pico de cortocircuito, que viene determinada por:

$$I_{P,CC,3\phi} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{CC,3\phi} \quad [4.16.]$$

siendo:

$I_{P,CC,3\phi}$	Corriente pico de cortocircuito trifásico. [A]
K	Relación entre la reactancia y la resistencia de la red. [-]
$I_{CC,3\phi}$	Corriente de cortocircuito trifásico que circula por el cable. [A]

Se elegirá un valor de K de 1,8 de acuerdo con la IEC 60909.

Por lo tanto, se tienen los siguientes datos:

**Tabla 4.16.:** Parámetros para el cálculo de la fuerza electrodinámica.

Parámetro	Unidad	Valor numérico
K	-	1,8
$I_{CC,3\phi}$	kA	23,1
$\mu_0$	N/A <sup>2</sup>	$1,2566 \cdot 10^{-6}$
d	cm	20
g	m/s <sup>2</sup>	9,8

En el caso actual, se considera una corriente de falta de 23,1 kA y una distancia de separación entre conductores de 20 cm, por la fuerza electrodinámica tiene un valor de 352,65 kg/m.

#### 4.4.2.2.2-Esfuerzo sobre los aisladores de un conductor

Ya conocida la fuerza de un conductor sobre otro, se puede calcular la máxima fuerza sobre los aisladores de un conductor:

$$Q = f \cdot L \quad [4.17.]$$

siendo:

Q	Máximo esfuerzo sobre los aisladores de un conductor. [kg]
f	Fuerza por unidad de longitud electrodinámica ejercida por un conductor sobre otro paralelo a éste. [kg/m]
L	Longitud de vano. [m]

En la Tabla 4.17. se muestran los parámetros para el cálculo de la ecuación [4.17.].

**Tabla 4.17.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo sobre los aisladores del conductor.

Parámetro	Unidad	Valor numérico
f	kg/m	352,65
L	m	2

En el caso estudiado, hay una fuerza electrodinámica de 238,5kg/m, y se considera que el la longitud de vano de 2 metros. Entonces, el valor del esfuerzo sobre los aisladores es 705,31 kg.

#### 4.4.2.2.3-Esfuerzo de rotura

Hay que diferenciar dos esfuerzos de rotura, esfuerzo de rotura del aislador y esfuerzo de rotura en cabeza del aislador. Ambos esfuerzos están relacionados por la siguiente expresión:

$$R_1 = \frac{R \cdot h}{h_1} \quad [4.18.]$$

siendo:

$R_1$	Esfuerzo de rotura en cabeza del aislador. [kg]
$R$	Esfuerzo de rotura del aislador. [kg]
$h$	Altura del aislador. [m]
$h_1$	Altura de la cabeza del aislador. [m]

En el caso que nos ocupa, se tiene los datos de la siguiente tabla:

**Tabla 4.18.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo de rotura en cabeza del aislador.

Parámetro	Unidad	Valor numérico
$h$	m	2,5
$h_1$	m	2,55

Según el MIE-RAT 14 (Reglamento de Líneas de Alta Tensión), la altura del aislador es de 2,5 m y se supondrá que la dimensión mayor de la pletina está colocada de forma vertical, por lo que la altura del conductor será de 2,55 m [21]. Por lo tanto, el esfuerzo del aislador es igual a 0,98 R.

$$R_1 = 0,98 \cdot R \quad [4.18.a]$$

#### 4.4.2.2.4-Comparación entre el esfuerzo sobre el conductor y el esfuerzo de rotura del aislador del conductor

Como ya se ha comentado anteriormente, debe haber una diferencia suficientemente holgada para que el valor del esfuerzo de rotura del aislador sea mayor que el esfuerzo sobre el aislador. La mínima diferencia viene determinada por un factor  $\mu$ . La diferencia entre ambas roturas es:

$$R \geq \mu \cdot Q \quad [4.19.]$$

siendo:

R	Esfuerzo de rotura del aislador. [kg]
$\mu$	Factor de seguridad. Tiene un valor comprendido entre 2,5 y 3. [-]
Q	Esfuerzo sobre los aisladores de un conductor. [kg]

En el caso de estudio, el esfuerzo de rotura del aislador

**Tabla 4.19.:** Parámetros para el cálculo del esfuerzo sobre el aislador del conductor.

Parámetro	Unidad	Valor numérico
$\mu$	-	3
Q	Kg	705,31

Se elegirá un valor de  $\mu$  máximo de 3 para aumentar la seguridad de las instalaciones.

Comparando las ecuaciones [4.18.a] y [4.19.] obtenemos:

$$R \geq 2.115,92 \text{ kg} \quad [4.19.a]$$

#### 4.4.2.2.5-Cálculo final del esfuerzo de rotura de la cabeza del aislador

Comparando las ecuaciones [4.18.a] y [4.19.a]:

$$R_1 \geq 2.074,43 \text{ kg} \quad [4.20]$$

Por lo tanto, se debe elegir un aislador cuya cabeza tenga una resistencia mínima de 2.074,43 kg.

### 4.5- Puesta a tierra de la instalación

El centro de transformación considerado tiene unas dimensiones de 20x25 metros. La puesta a tierra de este centro de transformación debe respetar el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RCE), más específicamente el MIE-RAT-13 [21][22].

El centro de transformación considerado tiene unas dimensiones de 20x25 metros. Sin embargo, por motivos de seguridad se instalará un mallado de 80x152 metros.

La función principal de la puesta a tierra consiste en limitar las tensiones con respecto a tierra de las masas en tensión a fin de proteger a personas de potenciales diferencias de tensión entre los distintos elementos del centro de transformación. Para tal fin, se debe enterrar uno o varios electrodos, conectados entre sí. Si la instalación y los cálculos se han realizado correctamente, las diferencias de potencial en las masas en tensión y las superficies

en el terreno próximas sean insignificantes. Además, la puesta a tierra debe tener un camino para las corrientes de defecto o corrientes debidas a descargas atmosféricas.

El centro de transformación tiene las siguientes características:

**Tabla 4.20.:** Características del centro de transformación.

Concepto	Unidad	Valor numérico
Potencia	kVA	1250
Relación de transformación	-	15.000/380
Frecuencia	Hz	50
Categoría	-	3
Resistividad del terreno ( $\rho$ )	$\Omega \cdot m$	3.000

Los cálculos de la puesta a tierra se basan en las tablas de UNESA.

#### 4.5.1- Cálculo de la intensidad de defecto a tierra

Por criterios de diseño de puesta a tierra de la instalación tiene un valor máximo 114  $\Omega$  (intensidad de defecto máxima de 52,6316 A). La resistencia de puesta a tierra tiene una expresión indicada por la siguiente fórmula:

$$R_t = \rho \cdot k_r \quad [4.21.]$$

siendo:

$R_t$	Resistencia de puesta a tierra. [ $\Omega$ ]
$\rho$	Resistividad del terreno. [ $\Omega \cdot m$ ]
$K_r$	Factor de resistencia. [ $\Omega/(\Omega \cdot m)$ ]

Por lo tanto,  $K_r$  tiene un valor máximo de 0,05  $\Omega/(\Omega \cdot m)$ . Con este valor, se escoge de entre las tablas de UNESA los parámetros más adecuados que se ajusten a esta condición. Por tanto, se elije la siguiente configuración **80-40/8/88**, que tiene los siguientes parámetros:

**Tabla 4.21.:** Parámetros de la configuración de la puesta a tierra.

Parámetro	Unidad	Valor
Factor de resistencia ( $K_r$ )	$\Omega/(\Omega \cdot m)$	0,038
Constante de tensión de paso ( $K_p$ )	$V/(A \cdot \Omega \cdot m)$	0,005
Factor de tensión de contacto ( $K_c$ )	$V/(A \cdot \Omega \cdot m)$	0,0111

Por la tanto, la resistencia de puesta a tierra en estas condiciones es de 114  $\Omega$ .

Con la anterior resistencia se puede calcular la intensidad de defecto, que se calcula de la siguiente forma:

$$I_d = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + X_C^2}} \quad [4.22.]$$

siendo:

$I_d$	Intensidad de defecto. [A]
$U_N$	Tensión de la red. [V]
$R_t$	Resistencia de puesta a tierra de protección. [ $\Omega$ ]
$X_C$	Reactancia de los cables de la red. [ $\Omega$ ]

donde la reactancia de los cables ( $X_C$ ) viene determinada por la siguiente expresión:

$$X_C = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C} \quad [4.23.]$$

siendo:

$C$	Capacidad de la red. [ $\mu F$ ]
-----	----------------------------------

La capacidad de la red viene determinada por la siguiente fórmula:

$$C = L_a \cdot C_a + L_b \cdot C_b \quad [4.24.]$$

siendo:

$L_a$	Longitud del cable aéreo. [m]
$C_a$	Capacidad específica del cable aéreo. [ $\mu F/km$ ]
$L_b$	Longitud del cable subterráneo. [m]
$C_b$	Capacidad específica del cable subterráneo. [ $\mu F/km$ ]

De acuerdo con las características de la instalación, los parámetros para el cálculo de la corriente de defecto están presentes en la siguiente tabla:

**Tabla 4.22.:** Parámetros para el cálculo de la intensidad de defecto.

Parámetro	Unidad	Valor
$U_N$	kV	15
$R_t$	$\Omega$	114



$X_c$	$\Omega$	53,0516
$C$	$\mu F$	2
$L_a$	km	0
$C_a$	$\mu F/km$	0,006
$L_b$	km	80
$C_b$	$\mu F/km$	0,25

Por lo tanto, la intensidad de defecto es de 15,9599 A.

#### 4.5.2- Cálculo de las tensiones de paso y contacto

##### 4.5.2.1- Tensiones de paso

La tensión de paso admisible sigue la siguiente función:

$$V_{P,adm} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000}\right) \quad [4.25.]$$

siendo:

$V_{p,adm}$	Tensión de paso admisible. [V]
$t$	Tiempo de duración de la falta. [s]
$\rho$	Resistividad del terreno. [ $\Omega \cdot m$ ]

Los parámetros K y n están relacionados con la duración de la falta (t) de la siguiente forma:

**Tabla 4.23.:** Valores de los parámetros K y n de la puesta a tierra.

t	K	n
$t \leq 0,9 \text{ s}$	72	1
$0,9 \text{ s} \leq t \leq 3 \text{ s}$	78,5	0,18

Los parámetros para el cálculo de la tensión de paso admisible son los que se muestran en la tabla:

**Tabla 4.24.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de paso admisible.

Parámetro	Unidad	Valor
t	s	0,5

<b>K</b>	-	72
<b>n</b>	-	1
<b>ρ</b>	Ω·m	3.000

Según estos valores, la tensión de paso admisibles de 27,36 kV.

Además, hay que tener en cuenta la tensión de paso máxima, determinada por la siguiente ecuación:

$$V_{p,máx} = K_p \cdot \rho \cdot I_d \quad [4.25.]$$

siendo:

$V_{p,máx}$	Tensión de paso máxima. [V]
$K_p$	Constante de tensión de paso. [V/(A·Ω·m)]
$\rho$	Resistividad de la puesta a tierra. [Ω·m]
$I_d$	Corriente de defecto. [A]

Abajo se muestran los parámetros necesarios para el cálculo de la tensión de paso máxima:

**Tabla 4.25.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de paso máxima.

Parámetro	Unidad	Valor
<b>K<sub>p</sub></b>	V/(A·Ω·m)	0,005
<b>I<sub>d</sub></b>	kA	15,9599
<b>P</b>	Ω·m	3.000

Según la tabla anterior, la tensión de paso máxima tiene un valor de 239,4 V.

Según los valores de ambas tensiones de paso, la tensión de paso máxima es menor que la tensión de paso admisible. Por consiguiente, se cumple la normativa con respecto a las tensiones de paso.

#### 4.5.2.2-Tensiones de contacto

La tensión de contacto admisible las sigue la siguiente función:

$$V_{C,adm} = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho}{1.000}\right) \quad [4.26.]$$

siendo:

$V_{C,adm}$	Tensión de contacto admisible. [V]
$t$	Tiempo de duración de la falta. [s]
$\rho$	Resistividad del terreno. [ $\Omega \cdot m$ ]

Los parámetros K y n están relacionados con la duración de la falta (t), como se muestra en la Tabla 4.19.

Los parámetros para el cálculo de la tensión de contacto admisible son los que se muestran en la Tabla 4.20. Según los valores de esta tabla, la tensión de paso admisibles de 792 V.

Además, hay que tener en cuenta la tensión de contacto máxima, determinada por la siguiente ecuación:

$$V_{C,m\acute{a}x} = K_C \cdot \rho \cdot I_d \quad [4.27.]$$

siendo:

$V_{C,m\acute{a}x}$	Tensión de contacto máxima. [V]
$K_C$	Constante de tensión de contacto. [ $V/(A \cdot \Omega \cdot m)$ ]
$\rho$	Resistividad de la puesta a tierra. [ $\Omega \cdot m$ ]
$I_d$	Corriente de defecto. [A]

Abajo se muestran los parámetros necesarios para el cálculo de la tensión de contacto máxima:

**Tabla 4.26.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de contacto máxima.

Parámetro	Unidad	Valor
$K_C$	$V/(A \cdot \Omega \cdot m)$	0,0111
$I_d$	A	15,9599
$\rho$	$\Omega \cdot m$	3.000

Según la tabla anterior, la tensión de contacto máxima tiene un valor de 531,46468 V.

Según los valores de ambas tensiones de paso, la tensión de contacto máxima es menor que la tensión de contacto admisible. Por consiguiente, se cumple la normativa con respecto a las tensiones de contacto.

#### 4.5.3- Tensión de defecto

La tensión de defecto tiene la siguiente expresión:

$$V_d = I_d \cdot R_t \quad [4.28.]$$

siendo:

$V_d$	Tensión de defecto. [V]
$I_d$	Corriente de defecto. [A]
$R_t$	Resistencia de la puesta a tierra. [ $\Omega$ ]

Los parámetros para el cálculo de la tensión de defecto son los siguientes:

**Tabla 4.27.:** Parámetros para el cálculo de la tensión de defecto.

Parámetro	Unidades	Valor
$I_d$	A	15,9599
$R_t$	$\Omega$	114

Por lo tanto, la tensión de defecto es de 1.819,4286 V.

Como la tensión de defecto es mayor que 1.000 V, es necesaria una separación de seguridad de la puesta a tierra. Esta separación viene determinada por la siguiente expresión:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot 1.000} \quad [4.29.]$$

siendo:

D	Separación entre las puestas a tierra. [m]
$\rho$	Resistividad de la puesta a tierra. [ $\Omega \cdot m$ ]
$I_d$	Intensidad de defecto. [A]

Los parámetros para el cálculo de la separación entre las puestas a tierra (el de las masas y el de tierra) son los siguientes:

**Tabla 4.28.:** Separación entre la puesta a tierra de las masas y la de tierra.

Parámetro	Unidad	Valor
$\rho$	$\Omega \cdot m$	3.000
$I_d$	A	15,9599

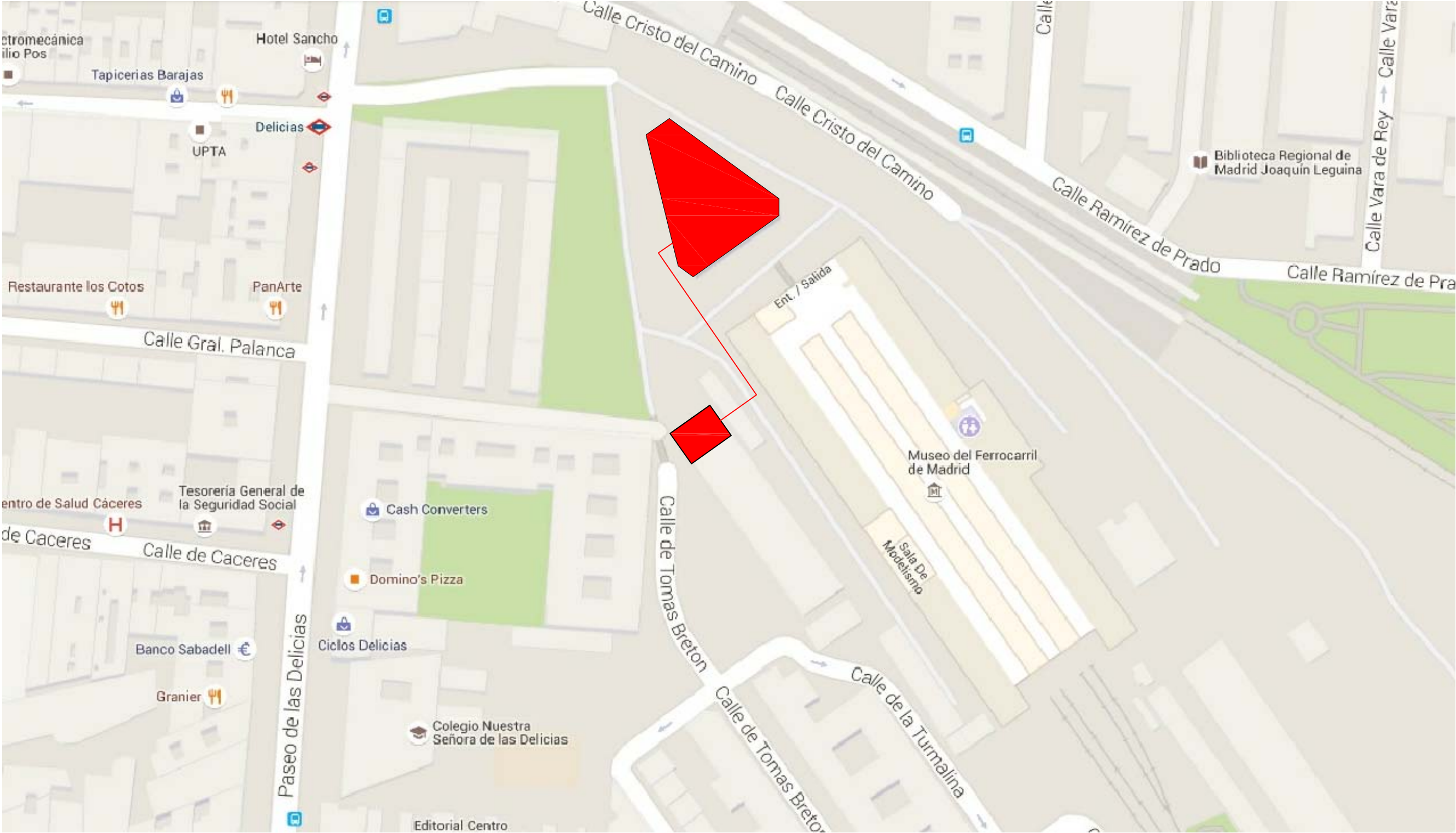
Sustituyendo los valores, la separación entre las puestas a tierra debe ser como mínimo de 7,6203 metros. Por lo que se debe enterrar ambas puestas a tierra con una separación de 8 metros.

#### 4.5.4- Conclusiones

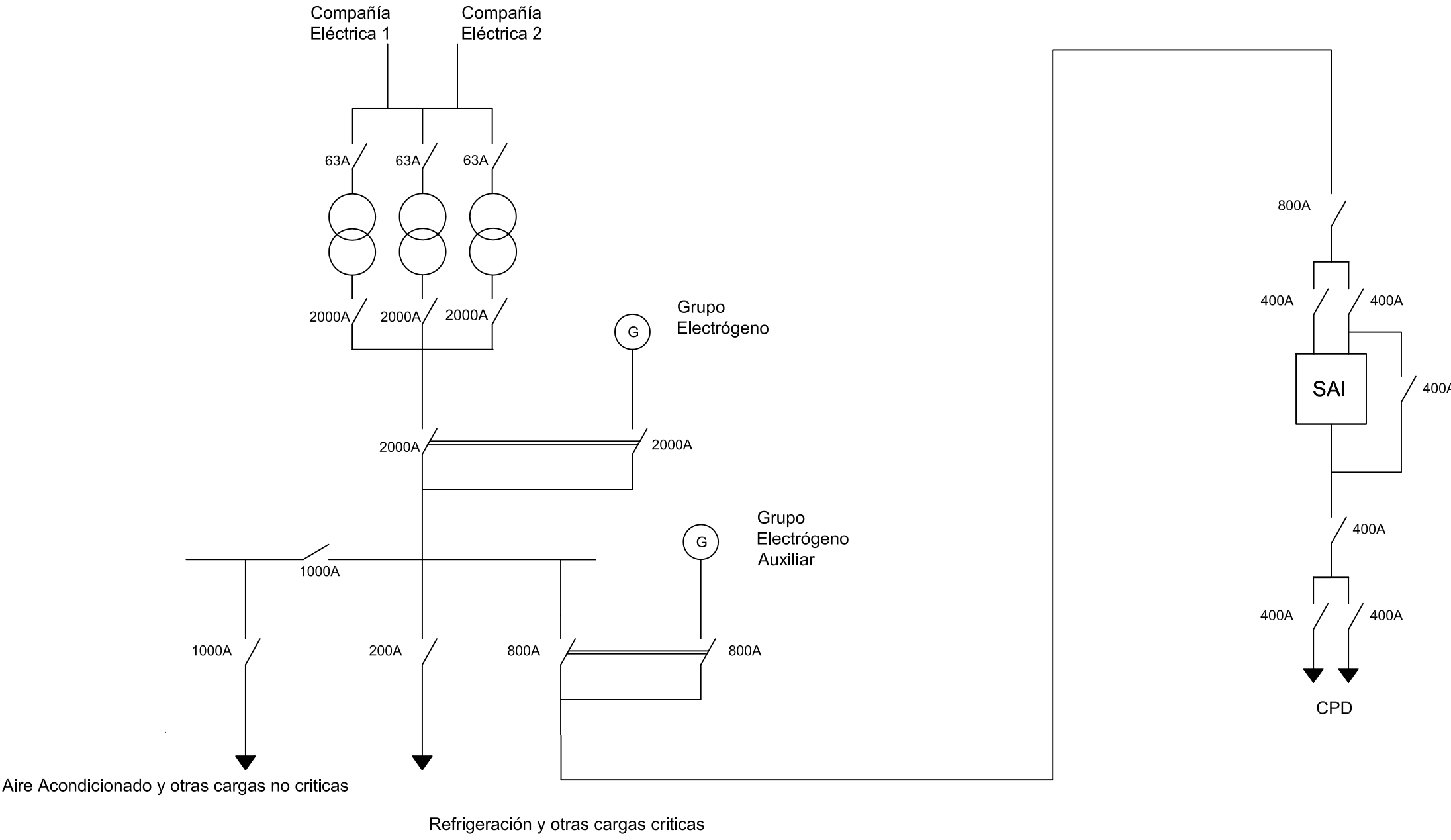
Se elige un mallado de 819 picas de  $50 \text{ mm}^2$  de sección, de 14 mm de diámetro y de 8 m de longitud. Cada rectángulo tiene unas dimensiones de 8x4 m, por lo que el mallado tiene unas dimensiones 80x152 m.

## 5- Planos

- Plano de ubicación del primer edificio.
- Diagrama de bloques de funcionamiento del SAI.
- Esquema unifilar de AT.
- Bloque del Sistema de Alimentación Ininterrumpida.
- Implantación del SAI.
- Mallado del sistema de puesta a tierra.

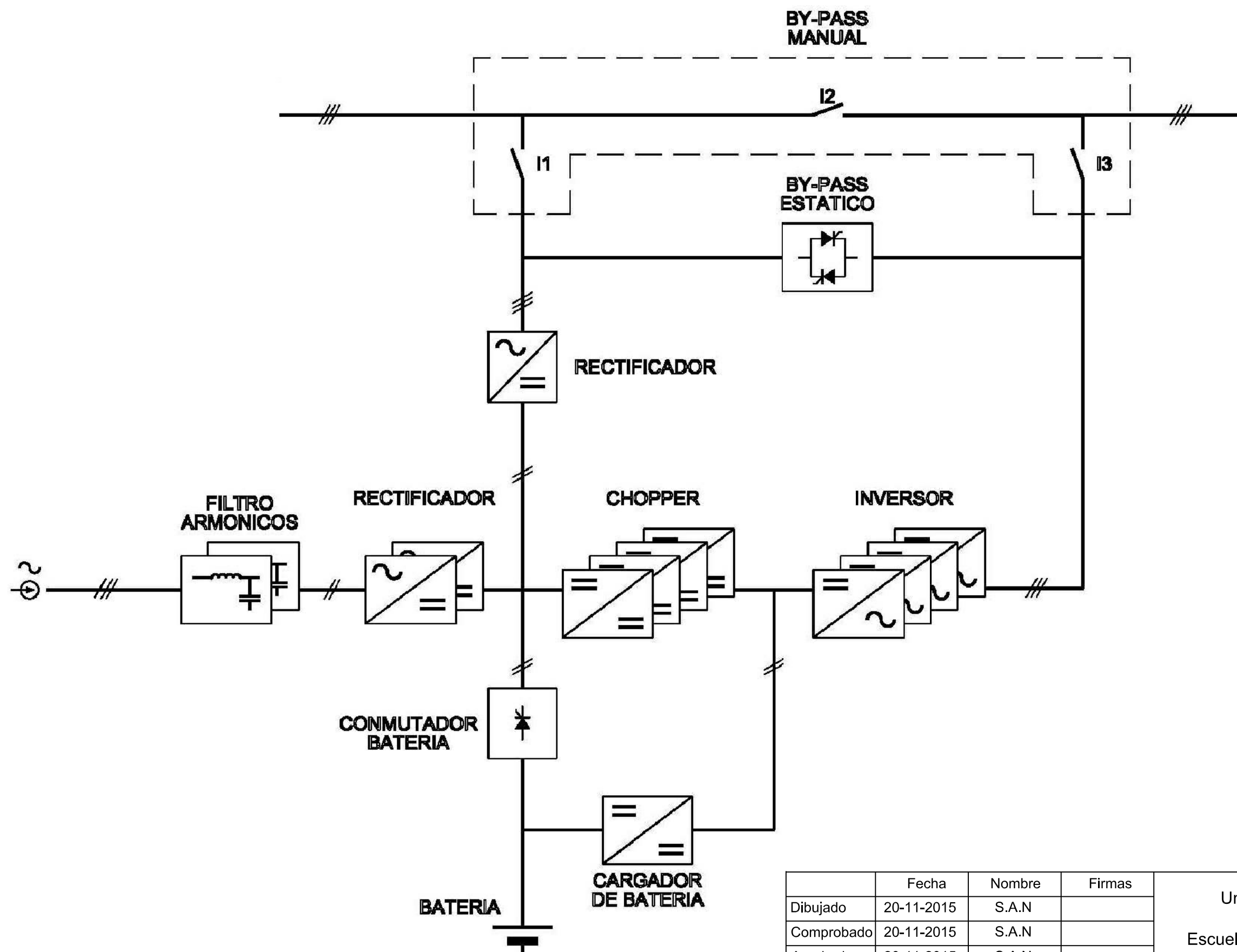


	Fecha	Nombre	Firmas	Universidad Carlos III de Madrid  Escuela Politécnica de Madrid (Leganés)	
Dibujado	20-11-2015	S.A.N			
Comprobado	20-11-2015	S.A.N			
Aprobado	20-11-2015	S.A.N			
Escala	Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)				Plano nº 1.1
S/N	UBICACION				Sustituye a
					Sustituido por

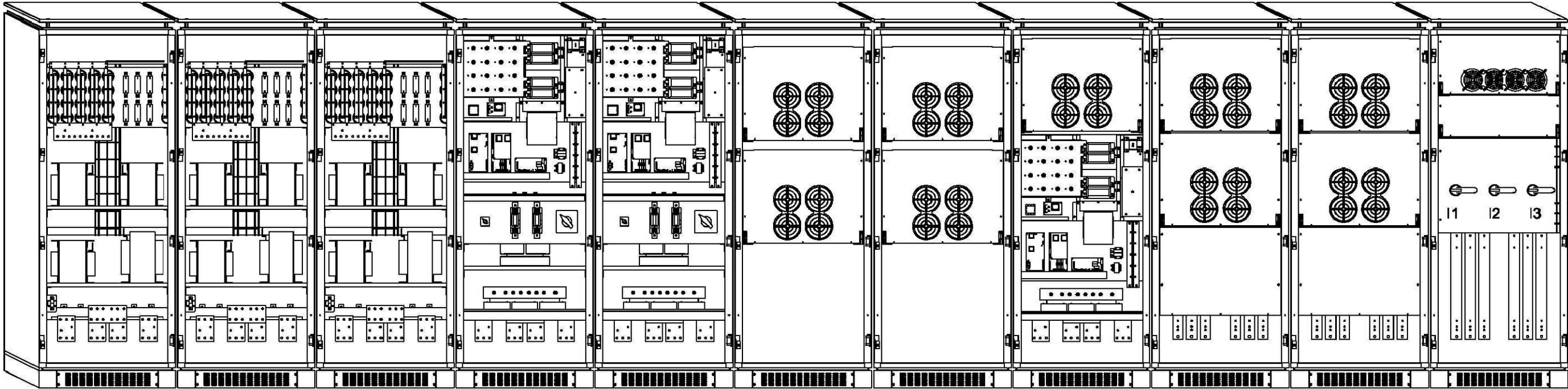


	Fecha	Nombre	Firmas	Universidad Carlos III de Madrid  Escuela Politécnica de Madrid (Leganés)	
Dibujado	20-11-2015	S.A.N			
Comprobado	20-11-2015	S.A.N			
Aprobado	20-11-2015	S.A.N			
Escala	Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)			Plano nº 1.1	
S/N					
ESQUEMA UNIFILAR			Sustituye a		
			Sustituido por		





	Fecha	Nombre	Firmas	Universidad Carlos III de Madrid  Escuela Politécnica de Madrid (Leganés)
Dibujado	20-11-2015	S.A.N		
Comprobado	20-11-2015	S.A.N		
Aprobado	20-11-2015	S.A.N		
Escala	Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)			Plano nº 1.1
S/N	ESQUEMA UNIFILAR			
				Sustituye a
				Sustituido por



FILTRO  
ARMONICOS

RECTIFIC.  
3x 380 V.

RECTIFIC.  
2x 220 V.

CHOPPER

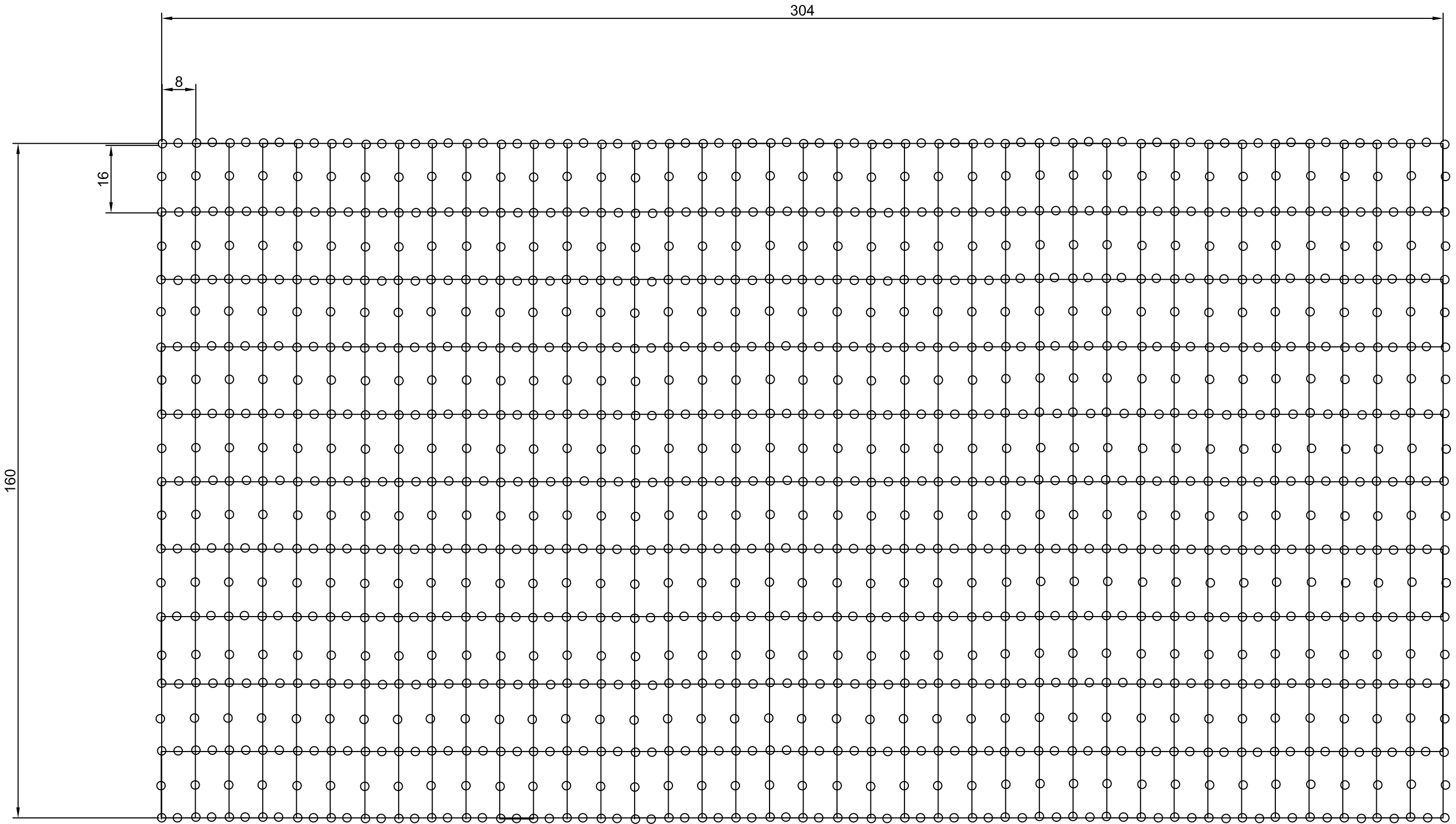
CARGADOR  
DE BATERIA

INVERSOR

BY-PASS  
ESTATICO  
Y MANUAL

CONMUTADOR  
BATERIA

	Fecha	Nombre	Firmas	Universidad Carlos III de Madrid  Escuela Politécnica de Madrid (Leganés)
Dibujado	20-11-2015	S.A.N		
Comprobado	20-11-2015	S.A.N		
Aprobado	20-11-2015	S.A.N		
Escala	Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)			Plano nº 1.1
S/N	ESQUEMA UNIFILAR			Sustituye a
				Sustituido por



	Fecha	Nombre	Firmas	Universidad Carlos III de Madrid  Escuela Politécnica de Madrid (Leganés)	
Dibujado	20-11-2015	S.A.N			
Comprobado	20-11-2015	S.A.N			
Aprobado	20-11-2015	S.A.N			
Escala	Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)				Plano nº 1.1
1:304.000	MALLADO DE PUESTA A TIERRA				Sustituye a
					Sustituido por

## 6- Presupuesto

### 6.1- Capítulo 1: Equipamiento Eléctrico de Alta Tensión

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
1.1	<p>Suministro y montaje de una cabina blindada con corte al aire, para llegada de línea A.T. con aislamiento SF6 de 17,5 kV, 50 Hz, In=630 A, Icc=20 kA. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	2	Ud.	5.550,60	11.101,20
1.2	<p>Suministro y montaje de una cabina blindada o compartimentada con corte de gas SF6 para llegada de línea de A.T. con aislamiento 17,5 kV, 50 Hz, In=400 A, Icc=60 KA. Servicio interior compuesto de los siguientes elementos: seccionador unipolar de entrada con puesta a tierra, interruptor automático con corte en SF6, seccionador unipolar de salida, transformador de intensidad para su protección con relación de transformación 400/5, relé electrónico de protección unipolar para la protección de línea para sobrecarga, cortocircuito y defecto a tierra; autolválvula 17,5 KV, 10 KA de descarga, transformador de tensión para medida de 15 KV/110/3. Equipo de medida, relés correspondientes para telemandar las señales. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	3	Ud.	39.780,62	119.341,87
1.3	<p>Suministro y montaje de transformador monofásico 1250kVA para 15/0,380 kV. Incluido accesorios, material auxiliar y pruebas necesarias. Totalmente montado y conexionado</p>	3	Ud.	8.397,44	25.192,32

**SUBTOTAL CAPITULO 1**

**155.635,39**

## **6.2- Capítulo 2: Equipamiento Eléctrico (Grupos Electrógenos)**

<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Med.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Precio Unitario (€/unidad)</b>	<b>Importe total (€)</b>
2.1	Suministro y montaje de una cabina blindada con corte al aire, para llegada de línea B.T. con aislamiento SF6 de 380 V, 50 Hz, In=400 A, Icc=60 kA. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	2	Ud.	5.550,60	11.101,20
2.2	Suministro y montaje de grupo eléctrico de 1.250 kVA. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	1	Ud.	87.560,87	87.560,87
2.4	Suministro y montaje de grupo eléctrico de 400 kVA. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	1	Ud.	87.560,87	87.560,87
<b>SUBTOTAL CAPITULO 2</b>					<b>186.222,94</b>

### 6.3- Capítulo 3: Cables y embarrados de Alta Tensión

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
3.1	Suministro y montaje de pletina de Cu 2x100x10mm para conexión entre cabinas de acometidas y transformadores de potencia. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	9.900,00	ml	58,78	581.922,00
3.2	Suministro y montaje de aisladores cerámicos 15kV para soporte de pletinas Cu 2x100x10mm. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	360,00	Ud.	275,87	99.313,20
3.3	Suministro y montaje de empalmes de pletinas Cu 2x100x10mm. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	360,00	Ud.	24,76	8.913,60
<b>SUBTOTAL CAPITULO 3</b>					<b>690.148,80</b>

## 6.4- Equipamiento eléctrico de Baja Tensión

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
4.1	Suministro, transporte y montaje del equipo rectificador-inversor	1	Ud.	421.761,49	421.761,49
4.2	<p>Suministro y montaje de panel de mando y control para un interruptor automático con mando a distancia. Incluido la parte proporcional de servicios auxiliares y relés intermedios de telemando, provisto de la aparamenta necesaria para realizar el mando, control y señalización para su correcto funcionamiento según E.T vigente. Comprende el cableado, conmutadores de mando y señalización, pulsadores, clapes de alarmas, relés, contactores, relés de protección, protecciones, aparatos de medida, transformadores de tensión e intensidad, regletas de bornas, marcado de los cables y realización de los esquemas de cableado. Pruebas hasta su correcto funcionamiento. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga y pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p> <p>Suministro y montaje de panel de mando y control para el eq. rectificador-inversor, provisto de la aparamenta necesaria para realizar el mando, control y señalización para su correcto funcionamiento según e.t. vigente. Comprende el cableado, conmutadores de mando y señalización, pulsadores, clapes de alarmas, relés, contactores, relés de protección, protecciones, aparatos de medida, transformadores de tensión e intensidad, regletas de bornas, marcado de los cables y realización de los esquemas de cableado, pruebas hasta su correcto funcionamiento. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el montaje, su regulación y pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.</p>	1	Ud.	3.217,86	3.217,86
4.3	regletas de bornas, marcado de los cables y realización de los esquemas de cableado, pruebas hasta su correcto funcionamiento. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el montaje, su regulación y pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	1	Ud.	11.863,53	11.863,53

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario	Importe total
4.4	<p>Suministro y montaje de un cuadro de distribución y protección en b.t. compuesto de los siguientes elementos: armario de poliéster de 750 x 1250 x 300 mm., reforzado con fibra de vidrio, grado de protección ip55. Una base portafusibles tripolar de 2000 a, con sus fusibles correspondientes. Dos cerraduras de enclavamiento. Armario totalmente conexionado, perfiles, regletas de bornas, etc. estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el montaje, pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.</p>	2	Ud.	1.576,76	3.153,52
4.5	<p>Suministro y montaje de equipo de aire acondicionado para montaje en sala en la que se ubica equipamiento del Sistema de Alimentación Ininterrumpida. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, elementos de fijación, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	2	Ud.	2.873,29	5.746,58
4.6	<p>Suministro y montaje de Interruptor Automatico de de Baja Tensión de 2.000A. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, elementos de fijación, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	6	Ud.	243,58	1.461,48
4.7	<p>Suministro y montaje de Interruptor Automatico de de Baja Tensión de 1.000A. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, elementos de fijación, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	1	Ud.	243,58	243,58
4.8	<p>Suministro y montaje de Interruptor Automatico de de Baja Tensión de 800A. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, elementos de fijación, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares</p>	2	Ud.	121,79	243,58



Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario	Importe total
4.9	Suministro y montaje de Interruptor Automatico de de Baja Tensión de 400A. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, elementos de fijación, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	2	Ud.	60,90	121,79
<b>SUBTOTAL CAPITULO 4</b>					<b>447.813,41</b>

## 6.5- Cables y embarrados de Baja Tensión

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
5.1	Suministro y tendido de un conductor de cu unipolar aislado de 300 mm2 de sección, con aislamiento 0,6/1 kV., sobre bandejas o canaletas. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	1.000	ml	30,71	30.710,00
5.	Suministro y tendido de un conductor de cu unipolar aislado de 300 mm2 de sección, con aislamiento 0,6/1 kV., sobre bandejas o canaletas. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	100	ml	23,03	2.303,00
5.2	Partida Alzada de empalmes y pequeño material de Baja Tensión	1	Ud.	1.650,65	1.650,65
<b>SUBTOTAL CAPITULO 5</b>					<b>34.663,65</b>

## 6.6- Obra Civil

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
6.1	Partida Alzada de trabajos de obra civil necesarios para la correcta ejecución de la instalación.	1	Ud.	8.000,00	8.000,00
SUBTOTAL CAPITULO 6					8.000,00

## 6.7- Presupuesto final

Concepto	Importe total (€)
Presupuesto de Ejecución de Materiales	1.522.484,19
Gastos generales y beneficio del 19 %	289.272,00
Presupuesto de Ejecución del Contrata	1.811.756,19
IVA del 21 %	380.468,80
Presupuesto Base de Licitación	2.192.224,99

## 7- Conclusiones y trabajos futuros

### 7.1- Conclusiones

De este TFG se ha conseguido alcanzar los objetivos presentados en el apartado 1.2. Por lo tanto, se ha aprendido a determinar las condiciones técnicas y económicas de una instalación eléctrica de un CPD. De aquí se desprenden otros conocimientos necesarios y requeridos para llevar a cabo el presente TFG:

- Realizar un estudio de los SAIs, conociendo las distintas configuraciones y usos. También se quiere conocer su composición y el propósito de cada componente, así como las principales características a la hora de elegir un SAI.
- Tomar una solución para llevar a cabo el TFG, diseñando con esto instalación eléctrica de AT y BT del CPD.
- Desarrollo de todos los cálculos eléctricos necesarios que justifiquen la solución adoptada.
- Comprobación de instalaciones de BT y modificación en caso de existir alguna deficiencia.
- Elaboración de planos necesarios para la definición de la solución adoptada.
- Desarrollar un plan de trabajos del TFG
- Elaboración de un presupuesto aproximado de la instalación

### 7.2- Trabajos futuros

Para poder mejorar la eficiencia y el rendimiento de la instalación, es posible llevar a cabo algunos estudios de la instalación, como por ejemplo los sistemas de refrigeración, eficiencia térmica y energética, y acumulación energética. Con el fin de aumentar el rendimiento y la autonomía de los SAIs es necesario que la temperatura esté en unos márgenes térmicos adecuados para su operación óptima. Además, los CPDs, análogamente a los SAIs, funcionan óptimamente en unos márgenes de temperatura indicados por los mismos CPDs.

Por otra parte, para disminuir el coste energético y de calefacción/aire acondicionado de todas las instalaciones, se deben realizar estudios en relación a la eficiencia térmica y energética. Estos estudios se basan sobre las instalaciones existentes. El estudio de la eficiencia térmica debe garantizar un equilibrio entre el coste de calefacción/aire acondicionado y el bienestar de los trabajadores. El estudio energético estará destinado a fin de reducir el consumo energético.

Para finalizar, se podría implementar nuevos sistemas de acumulación energética. Estos sistemas pueden sustituir la alimentación del grupo electrógeno cuando se produzca de forma

que el grupo electrógeno no se haya podido conectar a la instalación. Así se evitaría la interrupción de alimentación al CPD.

## 8- Plan de trabajos

Los pasos que se han seguido para realizar este documento son los siguientes:

- 1- **Estado del arte de los centros de procesamiento de datos y de los sistemas de alimentación ininterrumpida** (3 semanas).
- 2- **Estudio del entorno de la instalación a proyectar** (2 semanas).
- 3- **Cálculos eléctricos** (2 semanas).
- 4- **Definición de la aparamenta** (1 semana).
- 5- **Elaboración de los planos** (1 semana).
- 6- **Elaboración del presupuesto** (1 semana).
- 7- **Elaboración del plan de trabajos del trabajo de fin de grado** (1 semana).
- 8- **Conclusiones y trabajos futuros** (1 semana).
- 9- **Revisión del trabajo de fin de grado** (5 días).
- 10- **Corrección del trabajo de fin de grado** (3 días).
- 11- **Elaboración de la presentación del trabajo de fin de grado** (5 días).

Ahora se procederá a explicar cada paso.

1. Estado del arte de los centros de procesamiento de datos y de los sistemas de alimentación ininterrumpida

Se recopilan documentos, catálogos, trabajos anteriores, etc. para obtener información sobre los centros de procesamiento de datos y sobre los sistemas de alimentación ininterrumpida. Una vez recopilada toda la información, se efectúa a extraer la información relevante y plasmarla en el proyecto.

2. Estudio del entorno de la instalación a proyectar

En este punto se intenta recopilar y analiza los estados de partida y de la ubicación. Se estudia todos los datos y las prescripciones o limitaciones que se han de tener en cuenta. Si se detecta la ausencia de algún dato necesario, se efectúa la búsqueda de estos datos. Este paso es útil para realizar los siguientes pasos, ya que muchos de estos datos son utilizados en las demás partes del proyecto.

3. Cálculos eléctricos

Una vez obtenidos todos los datos del apartado anterior, es posible realizar los cálculos eléctricos. Estos cálculos eléctricos se dividen en dos partes según su nivel de tensión. Se

realizan los cálculos de los embarrados, los cables, los aisladores y la red de puesta a tierra. Estos cálculos deben respetar los requerimientos del cliente, incluidos en los datos de partida.

#### 4. Definición de la aparamenta

Aquí se hace la selección del equipamiento eléctrico de protección en base de los cálculos eléctricos del paso anterior y del estado del arte de los sistemas de alimentación ininterrumpida. Los cálculos efectuados para aparamenta deben ser coherentes con los cálculos eléctricos.

#### 5. Elaboración de los planos

La elaboración de los planos consiste en recopilar los planos de partida y en plasmar en un plano la solución proyectada. Se debe tener mucho cuidado con los planos, ya que sus características deben concordar con los pasos anteriores.

#### 6. Elaboración del presupuesto

Con todas las soluciones propuestas se deben llevar a cabo la elección y la compra de los equipos que cumplan con los requisitos del propietario. Tienen que respetar tanto los cálculos eléctricos como los mecánicos. El coste de los equipos debe ser el menor posible. Una vez elegidos, se realiza la elaboración del presupuesto (recuento de los costes de los equipos elegidos).

#### 7. Elaboración del plan de trabajos del trabajo de fin de grado

Este paso consiste en escribir todas las actividades que se han realizada y la duración de las mismas.

#### 8. Conclusiones y trabajos futuros

A partir de los apartados anteriores, este paso consiste en sacar algunos comentarios de interés sobre lo aprendido por el proyectista. Además, éste, o ésta, debe tener en cuenta la ejecución de trabajos futuros sobre el trabajo proyectado.

#### 9. Revisión del trabajo del fin de grado

Una vez entregado el trabajo de fin de grado, se procedería a revisar el contenido del trabajo entero; es decir, comprobar la veracidad de la información y que el contenido sea correcto.

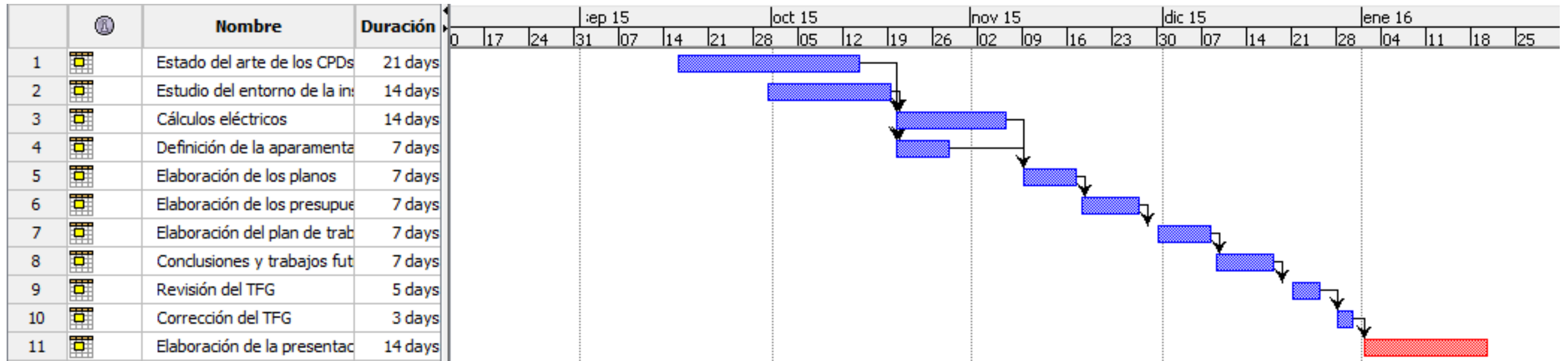
#### 10. Corrección del trabajo de fin de grado

Ya terminado el “paso 9”, el trabajo será corregido y puntuado de acuerdo con las normas pertinentes de corrección.

#### 11. Elaboración de la presentación del trabajo de fin de grado

Una vez corregido el trabajo, el alumno ha de ser capaz de defender y exponer lo que ha estado explicando a lo largo del documento.

## PLAN DE TRABAJOS



## 9- Bibliografía

- [1] *Manual de instalación y operación: Sistema de alimentación ininterrumpida SAI serie SLC ELITE MAX de 160 a 300 kVA de Salicru.*
- [2] *Sistemas de alimentación ininterrumpidos SAI de Víctor Hugo Kurtz: Universidade Federal de Santa María (centro tecnología), Brasil, y Universidad Nacional de Misiones (facultad de ingeniería), Argentina.*
- [3] *Cuaderno Técnico nº 129: Protección de personas en sistemas de alimentación con fuentes ininterrumpidas de energía eléctrica (versión de marzo del 2000) de Schneider Electric.*
- [4] *Guía Técnica: Sistema de Alimentación Ininterrumpida (versión del 2013) de Legrand.*
- [5] *Comparación de configuraciones de diseño de sistemas SAI por Kevin McCarthy (informe interno nº 75) de APC.*
- [6] *SAI Liebert® NXL™ 400 kVA – 800 kVA. Protección por SAI a escala empresarial para centros de datos medianos y grandes, de Emerson Network Power.*
- [7] *Sistemas de protección y maniobra en Media Tensión de Schneider Electric.*
- [8] *Transformadores encapsulados en resina epoxi hasta 16.000 kVA/36 kV de Imefy.*
- [9] *Diesel generator set KTA50 series engine de Cummins Power Generation.*
- [10] *Master HE MHE 400 de Riello UPS.*
- [11] *Diesel generator set QSX15 series engine de Cummins Power Generation.*
- [12] *Wikipedia :<<http://www.wikipedia.org/>> (03/05/2015)*
- [13] *Tema 7: Sistemas de alimentación ininterrumpida de Fundación San Valero.<<http://www.sanvalero.net/webprofesores.php>> (30 – IV – 2015)*
- [14] *New-SAI S.L.<<http://newsai.es/>> (30-IV-2015)*
- [15] *Manual de Usuario: SLC CUBE3<sup>+</sup>, sistema de alimentación ininterrumpida de Salicru.*
- [16] *ESH10036 de RS Components Ltd.*
- [17] *SLC CUBE3+ Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) de 7,5 a 200 kVA de Salicru.*
- [18] *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.*
- [19] *Manual Teórico-Práctico : Instalaciones en Baja Tensión (volumen 3) de Schneider Electric.*
- [20] *Curso de instalaciones eléctricas del COIIM (Madrid, 1995).*



- [21] *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión.*
- [22] *Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RCE).*